



**Arminda Maria  
Ribau Pata**

## **Balanceamento de uma Linha de Montagem**



**Arminda Maria  
Ribau Pata**

## **Balanceamento de uma Linha de Montagem**

Relatório de Projecto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Professora Doutora Maria João Machado Pires da Rosa, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro e co-orientação da Licenciada Ana Raquel Reis Couto Xambre, Assistente Convidada do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

## **o júri**

presidente

**Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira**

Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor Cristóvão Silva**

Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (Arguente)

**Professora Doutora Maria João Machado Pires da Rosa**

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro (Orientadora)

**Licenciada Ana Raquel Reis Couto Xambre**

Assistente Convidada do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro (Co-orientadora)

## agradecimentos

Ao longo da minha vida fui adquirindo experiência nas mais diversas áreas o que, durante o meu estágio curricular, facilitou a integração na organização e a admiração pelo trabalho desenvolvido. Passo a passo fui conquistando o respeito e a amizade dos colegas de trabalho. Os conhecimentos técnicos foram fortalecidos com a sua ajuda à medida que me foram facultando os seus conhecimentos. Por isso, apesar do presente estudo se tratar de um trabalho que é individual, pretendo referir a importância de todas as pessoas que colaboraram no meu crescimento intelectual ao transmitirem-me a sua sapiência e que me acompanharam e apoiaram ao longo de toda a minha vida, participando no trajecto traçado com um lápis em que a mina foi partindo várias vezes ao longo de todo o percurso, mas em que houve sempre uma afia para reparar a mina, que apesar de mais curta voltava a escrever e permitiu-me chegar aqui.

Pelo que referi anteriormente:

Agradeço à minha orientadora Professora Doutora Maria João Pires da Rosa, a confiança em mim depositada e o facto de acreditar nas minhas potencialidades.

Um especial agradecimento à minha co-orientadora, Licenciada Ana Raquel Xambre por ter aprovado a missão de orientar o meu trabalho e pela paciência e disponibilidade para me aconselhar e corrigir.

Ao presidente da comissão organizadora do evento “*Bike Tour*”, Sr. Diamantino Nunes, o meu muito obrigada por ter aceite a minha candidatura a estágio curricular, autorizando o desenvolvimento do caso de aplicação e a minha participação nas funções a cumprir pelo grupo *Sportis*, inclusivamente a cooperação na organização e implementação do evento nas cidades de Madrid e São Paulo.

Ao meu orientador na *Sportis Indústria*, Sr. Celestino Pêgo, Director Industrial, agradeço os conhecimentos transmitidos e as oportunidades de demonstrar provas.

Aos meus pais agradeço os valores que me inculcaram e que hoje regem a minha vida e à minha família a tolerância por nem sempre estar disponível.

Finalmente, obrigada a todos aqueles que anonimamente contribuíram para o meu progresso intelectual, aos meus professores e a todos os parceiros de trajecto.

## palavras-chave

Balanceamento de linhas de montagem, heurísticas.

## resumo

O presente relatório expõe o trabalho desenvolvido no sentido de efectuar o balanceamento de uma linha de montagem de bicicletas, da empresa *Sportis - Eventos Desportivos Lda*.

A análise deste caso de aplicação passou por arquitectar soluções em cenários distintos, no que diz respeito à configuração da linha de montagem, afectação das tarefas às pessoas, número de estações, postos duplicados, tempos de ciclo, entre outras, de modo a avaliar e comparar diferentes soluções para o balanceamento.

Foi assim estudado, tendo por base a literatura disponível, em que consiste o problema de balanceamento de uma linha de montagem, quais as condicionantes deste problema e que métodos podem ser utilizados na sua resolução.

Relativamente ao caso de aplicação são revelados os objectivos a atingir, o processo é descrito detalhadamente e ilustrado com fotografias das tarefas desempenhadas e são apresentados os dados recolhidos e respectivo tratamento, assim como o diagrama de precedências.

Inicialmente é efectuada a descrição do caso de referência que serve de base para o desenvolvimento deste trabalho e é sugerido o primeiro cenário, com as respectivas alterações que se julga melhorarem o funcionamento da linha de montagem, ajustando tarefas às pessoas sem recorrer a sistemas de apoio à decisão, sendo feita a comparação entre eles. Posteriormente são realizadas análises de resultados provenientes dos *Softwares* POM® e SAPLIMP e os resultados são criticados. Finalmente são apresentadas algumas conclusões que dizem respeito à aplicabilidade do balanceamento da linha de montagem e arrisca-se a apresentação de soluções para o problema em questão, revelando quais as perspectivas de desenvolvimento futuro.

## keywords

Assembly line balancing, heuristics.

## abstract

The current report describes the work that was developed in order to balance an assembly line that produces bicycles in the organization *Sportis - Eventos Desportivos Lda*.

The analysis of the application case included the implementation of solutions in different scenarios regarding the configuration of the assembly line, the assignment of tasks to workers, the number of stations, the duplicated workstations, the cycle time, among others, so that the analysis and comparison of different solutions was possible.

The study of the available literature allowed for the understanding of what is the balancing assembly line problem, what are the related issues and what are the methods for solving this problem.

In this specific case the proposed objectives are disclosed, the production process is thoroughly described and illustrated with photographs of the tasks, the data collection process is presented and its respective treatment as well as the precedence diagram.

Initially the reference case is described, since it serves as the basis for the development of this study, and also an initial suggested scenario, with some changes that are intended to improve the performance of the assembly line, adjusting tasks to people without the use of decision support systems, then a comparison is made between the both. Subsequent analysis of different scenarios was provided by *softwares* POM<sup>®</sup> and SAPLIMP<sup>®</sup> and the results were evaluated.

Finally some conclusions are presented concerning the applicability of the assembly line balancing solution and some prospects for future development are suggested.

# Índice

## Capítulo 1

1. Introdução .....	3
1.1. Relevância do Problema .....	3
1.2. Objectivos .....	4
1.3. Apresentação da Organização .....	5
1.4. Estrutura do Relatório .....	7

## Capítulo 2

2. Revisão da Literatura .....	11
2.1. Balanceamento de Linhas de Montagem .....	11
2.2. Medição de Trabalho.....	21

## Capítulo 3

3. Balanceamento da Linha de Montagem da Sportis .....	33
3.1. Descrição do Processo Produtivo.....	34
3.2. Recolha de Dados .....	40
3.3. Balanceamento da Linha de Montagem .....	42
3.3.1. Análise do Cenário Original .....	43
3.3.2. Cenário Alternativo Sem Recurso a SAD.....	43
3.3.3. Cenários Alternativos Recorrendo a SAD Admitindo Linha Única .....	47
3.3.3.1. Resultados Gerados Pelo POM® .....	50
3.3.3.2. Resultados Gerados Pelo SAPLIMP.....	56
3.3.3.3. Comparação dos Resultados .....	58
3.3.3.4. Análise do Problema Admitindo a Linha em “U” .....	60
3.3.4. Análise do Problema Não Admitindo Linha Única.....	62
3.3.4.1. Resultados POM® .....	63

3.3.4.2. Resultados SAPLIMP .....	67
3.3.4.3. Comparação dos Resultados .....	67
3.3.5. Análise Global dos Resultados .....	68
3.3.5.1. Cenário Original Vs Primeiro Cenário Alternativo .....	69
3.3.5.2. Eleição do melhor Cenário Recorrendo aos SAD .....	69
3.3.5.3. Conclusões .....	72

#### **Capítulo 4**

4. Conclusões e Perspectivas de Desenvolvimento Futuro.....	77
---	----

<b>Referências</b> .....	79
--------------------------	----

<b>Anexos</b> .....	83
---------------------	----



## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> – Organograma Sportis - Eventos Desportivos Lda <sup>[9]</sup> .....	6
<b>Figura 2</b> – “Bike Tour” em Madrid, evento realizado a 9 de Novembro de 2008 .....	6
<b>Figura 3</b> – Linha de Montagem Tradicional .....	11
<b>Figura 4</b> – Actividade .....	11
<b>Figura 5</b> – Exemplo de um Diagrama de Precedências (adaptado de Stevenson <sup>[10]</sup> ) .....	17
<b>Figura 6</b> – Linha Tradicional .....	17
<b>Figura 7</b> – Linha flexível em “U” .....	18
<b>Figura 8</b> – Linha de Dois Lados .....	19
<b>Figura 8</b> – Exemplo de um Diagrama de Precedências <sup>[10]</sup> .....	20
<b>Figura 9</b> – Relógio Decimal (Meylan Stopwatch Co.) <sup>[1]</sup> P.378 .....	26
<b>Figura 10</b> – Cronómetro Electrónico <sup>[1]</sup> P.378 .....	26
<b>Figura 11</b> – Painel da Montagem dos Pneus .....	33
<b>Figura 12</b> – Árvore do Produto .....	34
<b>Figura 13</b> – Linha de Montagem de Referência .....	34
<b>Figura 14</b> – Transporte dos quadros para o posto seguinte .....	35
<b>Figura 15</b> – Da esquerda para a direita: aplicação da caixa de direcção, movimento central e grade do bidão da água .....	35
<b>Figura 16</b> – Da esquerda para a direita: aplicação da forqueta e do guiador .....	36
<b>Figura 17</b> – Da esquerda para a direita: borboleta na forqueta e aplicar forqueta ao quadro .....	36
<b>Figura 18</b> – Da esquerda para a direita: preparar e agrupar componentes do guiador .....	36
<b>Figura 19</b> – Conjunto pendurado no tubo vertical .....	37
<b>Figura 20</b> – Da esquerda para a direita: colocar fita no aro e agrupar aro à câmara-de-ar e ao pneu .....	37
<b>Figura 21</b> – Da esquerda para a direita: montagem da roda de trás .....	37
<b>Figura 22</b> – Da esquerda para a direita: montagem da roda da frente .....	38
<b>Figura 23</b> – Rodas penduradas nos ganchos .....	38

<b>Figura 24</b> – Da esquerda para a direita: afinação de mudanças e travões, aparar terminais e bicicleta concluída .....	39
<b>Figura 25</b> – Da esquerda para a direita: agrupar componentes do selim e respectiva aplicação no quadro .....	39
<b>Figura 26</b> – Armazenamento das bicicletas.....	39
<b>Figura 27</b> – Diagrama de Precedências <sup>[13]</sup> .....	42
<b>Figura 28</b> – Desenho da linha de montagem actual.....	44
<b>Figura 29</b> – Configuração das estações no Cenário Alternativo Sem Recurso a SAD .....	49
<b>Figura 30</b> – Configuração das estações de MTP .....	52
<b>Figura 31</b> – Configuração das estações do MNTS .....	53
<b>Figura 32</b> – Configuração das estações do MPP.....	54
<b>Figura 33</b> – Configuração das estações do m_TP.....	55
<b>Figura 34</b> – Configuração das estações do m_NTS.....	56
<b>Figura 35</b> – Configuração do cenário eleito do SAPLIMP .....	58
<b>Figura 36</b> – Configuração dos postos físicos da Linha em “U” .....	62
<b>Figura 37</b> – Diagrama de Precedências do Problema Principal .....	64
<b>Figura 38</b> – Diagrama de Precedências do Guiador .....	64
<b>Figura 39</b> – Diagrama de Precedências da Roda da Frente.....	64
<b>Figura 40</b> – Diagrama de Precedências da Roda Traseira <sup>[3]</sup> .....	64
<b>Figura 41</b> – Gráficos POM® Problema Principal <sup>[13]</sup> .....	66
<b>Figura 42</b> – Gráficos POM® Guiador <sup>[13]</sup> .....	67
<b>Figura 43</b> – Gráficos POM® Rodas <sup>[13]</sup> .....	68

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b> – Percentagem de Confiança dos Valores de Z <sup>[10]</sup> P.325 .....	23
<b>Tabela 2</b> – Estrutura da tabela do ANEXO III _ numeração das tarefas e precedências.....	40
<b>Tabela 3</b> – Estrutura da tabela do ANEXO IV _ recolha de tempos, média, desvio padrão e nº de amostras.....	40
<b>Tabela 4</b> – Estrutura da tabela do ANEXO V _ Cálculo do NT e ST.....	41
<b>Tabela 5</b> – Estrutura da tabela do ANEXO VI _ Cenário Original .....	44
<b>Tabela 6</b> – Estrutura da tabela do ANEXO VII _ Cenário Alternativo Sem Recurso a SAD.....	48
<b>Tabela 7</b> – Cenário Original vs Resultados POM® .....	59
<b>Tabela 8</b> – Cenário Original vs Resultados SAPLIMP.....	61
<b>Tabela 9</b> –Resultados POM® do Problema Principal.....	66
<b>Tabela 10</b> –Resultados POM® do Guiador .....	67
<b>Tabela 11</b> –Resultados POM® das Rodas.....	68
<b>Tabela 12</b> – Análise comparativa Cenário Original Vs Cenário Alternativo Sem Recurso a SAD .....	71

## Índice de Gráficos

<b>Gráfico 1</b> – Maior Tempo de Processamento <sup>[13]</sup> .....	52
<b>Gráfico 2</b> – Maior Número de Tarefas Sucessoras <sup>[13]</sup> .....	53
<b>Gráfico 3</b> – Maior Peso Posicional <sup>[13]</sup> .....	54
<b>Gráfico 4</b> – Menor Tempo de Processamento <sup>[13]</sup> .....	55
<b>Gráfico 5</b> – Menor Número de Tarefas Sucessoras <sup>[13]</sup> .....	56

# Capítulo 1

---

## Introdução

*1.1.Relevância do Problema*

*1.2.Objectivos*

*1.3.Apresentação da Organização*

*1.4.Estrutura do Relatório*

# 1. Introdução

## 1.1. Relevância do Problema

Actualmente as organizações estão inseridas num meio ambiente cada vez mais instável, rigoroso e exigente em relação às necessidades de oferta e procura <sup>[8]</sup>.

É importante o posicionamento da organização num mercado cada vez mais globalizado e competitivo. Deste modo, o presente trabalho focaliza-se nos principais problemas existentes no projecto de linhas de montagem<sup>1</sup>. Problemas <sup>[8]</sup> esses que podem ser reduzidos através do balanceamento adequado da linha, recorrendo a Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), que apresentam soluções mais eficientes, comparativamente com a utilização de métodos mais rudimentares.

Neste contexto, serão expostas algumas alternativas que visam explicitar soluções para o problema do balanceamento de uma linha de montagem, isto é, métodos para distribuir a carga de trabalho o mais uniformemente possível pelos postos de trabalho que se encontram dispostos ao longo da linha de montagem. É fundamental recorrer aos SAD para poder explorar um maior número de variedade de soluções alternativas <sup>[8]</sup>. Isto permitirá a escolha da solução que melhor se adequa às necessidades da empresa permitindo que esta seja capaz de responder rapidamente e de forma fiável à elevada incerteza da oferta e da procura, dado que, hoje em dia a enérgica alteração dos mercados obriga as empresas a constantes ajustes nas decisões de planeamento e os industriais que utilizam linhas de montagem precisam responder com rapidez e eficiência às necessidades do mercado, para que as suas organizações se mantenham competitivas, minimizando custos de produção e maximizando lucros.

Deste modo, é necessário ajustar os processos produtivos à procura ditada pelo mercado, tornando-se por vezes complicado fazer ajustes nas linhas de montagem, particularmente quando essa procura é bastante instável e os produtos em questão diferem e apresentam procuras distintas. Torna-se mais fácil o ajuste no caso das linhas de montagem em que o produto não varia. No entanto, os ajustes da linha, mesmo que pequenos, são sempre necessários e requerem rapidez e eficiência sendo bastante relevante que a carga de trabalho esteja distribuída uniformemente ao longo da linha de montagem pelas estações de trabalho, para que a produção decorra com fluidez, evitando *stocks* excessivos ou falhas no abastecimento da linha.

---

<sup>1</sup>Uma linha de montagem é composta por postos de trabalho ligados entre si por um sistema que permite transferir o trabalho de forma manual ou automática, obedecendo a uma sequência <sup>[11]</sup>.

Uma linha não balanceada poderá precisar de mais recursos humanos, ferramentas, máquinas e equipamentos, a produção poderá não decorrer com facilidade e o sistema poderá encravar, uma vez que a carga de trabalho está distribuída aleatoriamente.

Sendo assim, é imprescindível conhecer o sistema, estudá-lo e identificar as tarefas críticas de modo a estabelecer objectivos e métodos de melhoria, planeando, fazendo, testando e actuando. Após a explicação da relevância do problema do balanceamento de uma linha de montagem, são enunciados os objectivos do caso de aplicação.

## **1.2. Objectivos**

A principal preocupação no desenvolvimento do caso de aplicação incide na apresentação de potenciais soluções para o problema de balanceamento da linha de montagem.

Partindo da literatura consultada, alguns métodos são aplicados à linha de montagem implementada na organização *Sportis - Eventos Desportivos Lda.*, mais precisamente a montagem de bicicletas.

A linha deverá apresentar um número mínimo de postos de trabalho (PT) e agrupar as 53 tarefas o mais uniformemente possível entre os diferentes PT, de modo a minimizar tempo ocioso e consequentemente a necessidade de recursos humanos. Neste ponto é importante fazer a distinção entre estações e postos de trabalho. Nas linhas tradicionais estes termos são equivalentes mas, quando se considera a possibilidade de existência de PT paralelos (ou seja, PT idênticos onde se realizam o mesmo conjunto de tarefas em unidades diferentes de produto), o número de estações corresponde aos diferentes conjuntos de tarefas que vão sendo realizados ao longo da linha e o número de PT corresponde ao número de trabalhadores requeridos (número  $PT \geq$  número de estações).

Após esta distinção é necessário ainda realçar que a afectação da mão-de-obra aos PT deverá considerar a racionalização da utilização de recursos humanos, das ferramentas, máquinas e equipamentos que auxiliam a execução das tarefas. Neste caso de estudo, os tempos de movimentação entre cada PT não serão levados em consideração na análise do problema, uma vez que se considera que os postos estão próximos entre si.

Um dos problemas que se verifica actualmente é a afectação da mão-de-obra aos postos de trabalho, dado que, por vezes, o operador em determinada estação de trabalho tem muito tempo inactivo ou a execução das tarefas ultrapassa o tempo disponível para a execução das tarefas em cada posto (tempo de ciclo). Assim, a carga de trabalho não está distribuída uniformemente,

tendo em conta que os postos não estão a responder em sintonia às necessidades de montagem, causando *stocks* excessivos ou falhas no abastecimento, facto que reduz a eficiência da linha.

Deste modo, o objectivo do presente caso de aplicação é analisar o comportamento da linha de montagem recorrendo a *software* para analisar diferentes regras heurísticas e algoritmos, o que dará origem a distintas configurações de linha, respeitando sempre precedências e restrições. Todas as alterações de afectação aos PT serão apresentadas nas tabelas em anexo, sendo ainda analisadas as vantagens e desvantagens das alterações efectuadas.

Adicionalmente, é importante realçar que, para que qualquer solução possa ser implementada com sucesso, é essencial sincronizar o abastecimento dos materiais à linha de montagem, evitando excessos e/ou falhas no fornecimento.

Recapitulando, a análise realizada para solucionar o problema de balanceamento da linha de montagem implementada, passa por arquitectar soluções em cenários distintos, no que diz respeito à configuração, afectação das tarefas às pessoas, diminuição do número de estações, diminuição do tempo inactivo, diminuição do número de postos de trabalho e diminuição do tempo de ciclo, respeitando sempre todas as restrições e precedências.

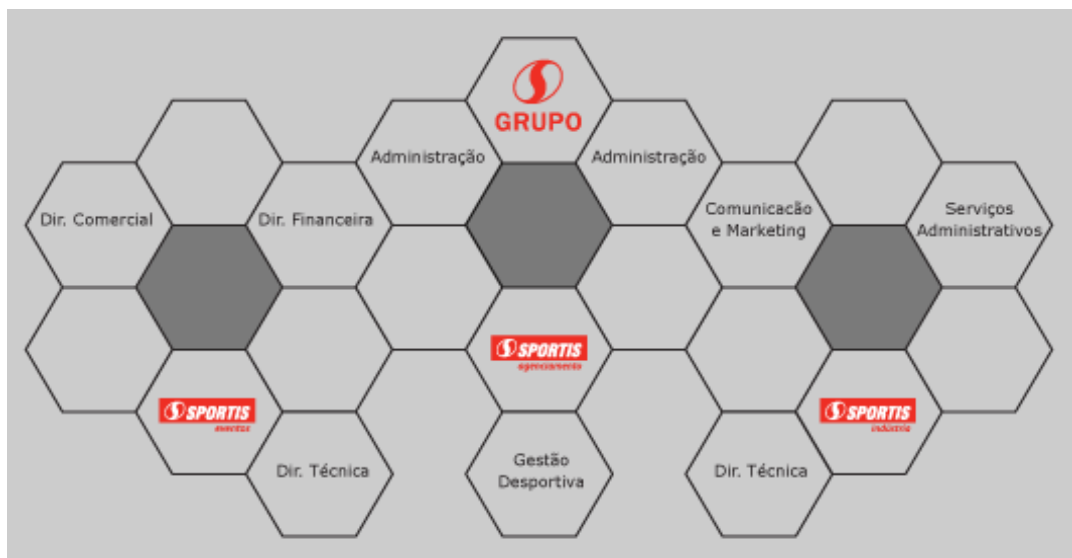
De seguida será feita uma breve apresentação da organização onde se encontra implementada a linha de montagem do caso de aplicação que serve de base para o desenvolvimento deste trabalho.

### **1.3. Apresentação da Organização**

O caso de aplicação diz respeito à linha de montagem de bicicletas existente na organização *Sportis - Eventos Desportivos Lda.*, que desenvolve a sua actividade no sector desportivo.

Os seus serviços passam por planear e implementar projectos na área dos eventos desportivos, desde gerir a carreira de atletas de alta competição, preparar estágios de equipas, efectuar consultadoria desportiva, organizar corridas de atletismo, torneios de futebol e basquetebol, desporto escolar, bem como realizar o evento “*Bike Tour*”, não só ao nível da organização do evento em si, mas também no que diz respeito à montagem das componentes das bicicletas para o respectivo evento e no qual irá incidir o caso de estudo de forma a aplicar os conteúdos da literatura consultada, sendo o intuito apresentar soluções para o problema de balanceamento da linha de montagem das bicicletas de modo a atingir os objectivos propostos.





**Figura 1** – Organograma Sportis - Eventos Desportivos Lda. <sup>[9]</sup>

A empresa emprega cerca de 30 funcionários e a sua estrutura organizativa obedece ao organograma apresentado na figura 1 sendo constituída por três sectores: agenciamento, eventos e indústria. O sector industrial está localizado na Gafanha da Encarnação, na Zona Industrial da Mota, e os restantes sectores em Esgueira. A distância que separa os sectores é de aproximadamente 12Km, no entanto, num futuro próximo, os três sectores irão estar centrados numa nova Zona Industrial.

Relativamente ao sector industrial, este surge em 2008 para responder à procura de bicicletas por parte do sector dos eventos, aquando da organização dos eventos “*Bike Tour*”.



**Figura 2** – “*Bike Tour*” em Madrid (evento realizado a 9 de Novembro de 2008)

O projecto “*Bike Tour*” teve início em 2006, na cidade de Lisboa, alargando-se a outras cidades nacionais e estrangeiras à medida que foi ganhando raízes. Reúne a prática de exercício físico com o prazer de um extraordinário passeio de bicicleta ao pedalar em acessos diariamente interditos a bicicletas e com uma óptica diferente da oferecida pelos meios de transporte rodoviários.

Em cada evento são reunidos entre 5000 a 10 000 participantes, de ambos os sexos, com idades superiores a 12 anos e com um objectivo comum, pedalar. Devidamente equipados com capacete e dorsal (número de peito), os participantes pedalam entre 10 e 15 km, para no final da prova, levarem a bicicleta para casa para poderem usufruir das suas potencialidades nos dias seguintes.

A organização estabelece parcerias com vários patrocinadores, sendo o objectivo principal, com a ajuda dos patrocinadores, incutir aos não praticantes de ciclo turismo o hábito da utilização da bicicleta, uma vez que, actualmente, o sedentarismo é causador de diversos problemas de saúde da sociedade em geral. Adicionalmente, o Instituto da Droga e Toxicodependência (IDT), parceiro da iniciativa, procura promover a luta contra o consumo de substâncias psicotrópicas. A intenção é incentivar as pessoas, através da prática desportiva, a adquirir hábitos de uma vida saudável.

Feita a apresentação da organização onde se encontra implementada a linha de montagem de referência para o desenvolvimento deste trabalho, importa compreender a estrutura do trabalho desenvolvido, explicada de seguida.

#### **1.4. Estrutura do Relatório**

O presente relatório encontra-se dividido em quatro áreas distintas: Introdução, Revisão da Literatura, Balanceamento da Linha de Montagem da Sportis e Conclusão.

O capítulo 1 consiste numa introdução que inclui o enquadramento do trabalho desenvolvido, onde é explicada a relevância do problema e quais os objectivos a atingir, é feita a apresentação da organização onde decorreu o trabalho e apresentada a estrutura do relatório. No capítulo 2, tendo em conta a literatura consultada, são apresentados métodos através dos quais o problema do balanceamento de uma linha de montagem poderá ser resolvido, respeitando determinada configuração, tempo de ciclo, alterando número de postos de trabalho e estações, entre outros. Nesse capítulo é também definida a medição de trabalho, desde metodologia a equipamentos de recolha. Posteriormente, no capítulo 3, alguns dos métodos analisados são aplicados ao sistema real, precisamente uma linha de montagem de bicicletas já implementada. O capítulo inicia-se com a descrição detalhada do processo produtivo, ilustrado com imagens das tarefas a desempenhar, e, de seguida, são expostos os métodos de medição usados na recolha dos dados e respectivos dados. É depois analisada a situação actual da linha de montagem que serve de base

para o desenvolvimento de todo o trabalho, é sugerido um primeiro cenário alternativo, com as alterações que se julga melhorarem o funcionamento da linha de montagem, ajustando tarefas às pessoas sem recorrer a qualquer SAD. Posteriormente são definidas e analisadas outras soluções para a configuração da linha provenientes dos *Softwares* POM<sup>®</sup> e SAPLIMP e finalmente os resultados são comparados entre si, são apresentadas conclusões que dizem respeito à aplicabilidade do balanceamento da linha de montagem, explanando as vantagens e as desvantagens de distintos cenários e respectiva viabilidade de aplicação.

Por último, no capítulo 4, são retiradas algumas conclusões globais em relação ao trabalho desenvolvido, revelando-se perspectivas de desenvolvimento futuro.

# Capítulo 2

---

## Revisão da Literatura

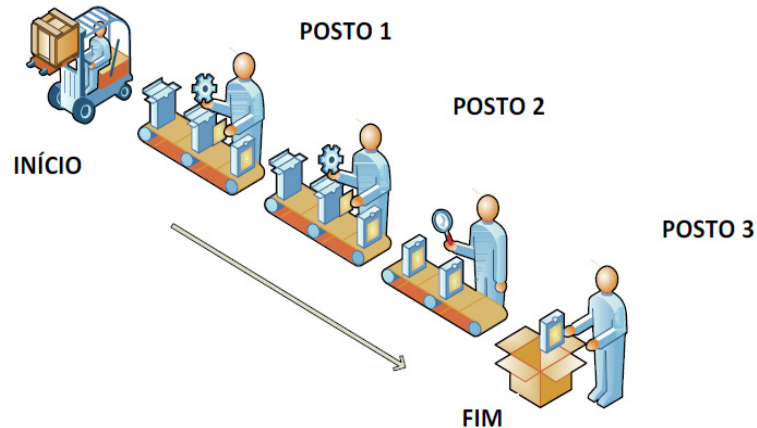
*2.1. Balanceamento de Linhas de Montagem*

*2.2. Medição de Trabalho*

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1. Balanceamento de Linhas de Montagem

Uma linha de montagem é composta por postos de trabalho ligados entre si por um sistema que permite transferir o trabalho de forma manual ou automática, obedecendo a uma sequência <sup>[11]</sup>. Segundo Stevenson <sup>[11]</sup> cada unidade a produzir vai passar em todos os postos obedecendo à sequência das tarefas. Quando num posto terminam as tarefas, o conjunto agrupado até ao momento passa para o posto seguinte e, nesse posto, recebem um novo conjunto para completar e assim sucessivamente.



**Figura 3 – Linha de Montagem Tradicional**

Em cada posto são realizadas várias tarefas de montagem, normalmente por recursos humanos que recorrem a pequenos equipamentos e ferramentas, com o intuito de obter o produto acabado, cumprindo procedimentos repetitivos e obtendo um elevado volume de produto acabado, respeitando um tempo fixo (tempo de ciclo) <sup>[11]</sup>.



**Figura 4 – Actividade**

As tarefas são as actividades que acrescentam valor ao produto final e que são afectadas aos postos de trabalho com o intuito de satisfazer a procura <sup>[10]</sup>.

Estas obedecem a um tempo de execução que se considera fixo e a ligações de precedência que ditam a sequência das actividades necessárias a desempenhar. É de salientar que os tempos de execução variam de tarefa para tarefa e, por esse facto, é imprescindível afectar a(s) tarefa(s) ao(s) posto(s) de trabalho, de modo a minimizar os tempos inactivos, diminuir o tempo de ciclo e harmonizar a carga de trabalho, assegurando a procura do produto <sup>[5]</sup>.

Segundo Simaria e Vilarinho <sup>[7]</sup> são vários os autores, entre os quais, *Grosh e Gagnon, Becker e Scholl* e Vilarinho e Simaria, entre outros, que apresentam soluções para o balanceamento de linhas de montagem, no entanto, na óptica destes autores, as organizações têm de estar preparadas para satisfazer as necessidades de clientes cada vez mais exigentes e sofisticados, e tal só poderá ser alcançado através de sistemas de produção flexíveis, isto é, processos capazes de lidar com uma vasta variedade de produtos para desta forma combater a incerteza e a variação da procura.

Defendem que as organizações, consoante as necessidades ditadas pelo mercado, devem ajustar a configuração da linha de montagem, ora de modo a atingir elevado volume de produtividade, qualidade uniforme e baixo custo de produção, ora de modo a responder a ciclos de vida curtos, baixos volumes de produção, diferentes padrões de procura, grande variedade de produtos e opções, e diferentes versões de um mesmo produto sem alterações significativas de custos, seguindo a filosofia *JIT*<sup>2</sup> para lidar com as constantes mudanças do mercado externo <sup>[7]</sup>.

Afirmam ainda, que a intensa concorrência entre as organizações, aliada aos avanços tecnológicos e à crescente procura de produtos personalizados, originou a redução da duração do ciclo de vida dos produtos e aumentou a pressão nas indústrias para diversificarem a gama dos produtos, assim como oferecer tempos de resposta cada vez mais curtos e fiáveis, de modo a manterem-se competitivas no mercado <sup>[7]</sup>.

Regra geral, os problemas de balanceamento de linhas de montagem surgem quando se redesenha o modelo do produto a ser montado <sup>[5]</sup>. Consoante a configuração da linha e sua flexibilidade, assim como a afectação dos recursos humanos, equipamentos e ferramentas aos postos de trabalho, o reajuste da linha será ou não facilitado e as alterações efectuadas poderão conduzir a soluções de maior qualidade em relação ao tempo inactivo de cada posto de trabalho e à distribuição da carga de trabalho.

---

<sup>2</sup> *JIT* – “Just in time”

Neste sentido, o problema do balanceamento da linha de montagem, resume-se basicamente em agrupar tarefas individuais de processamento e de montagem de maneira a que o tempo total afectado a cada posto de trabalho seja praticamente igual. O ideal seria ter o mesmo tempo em todas as estações de trabalho, para ter um balanceamento óptimo e para que a produção decorra com homogeneidade; no entanto, na prática, este objectivo é difícil de alcançar.

Independentemente da configuração da linha que se pretenda adoptar, existem aspectos <sup>[10]</sup> a considerar para se poder balancear uma linha de montagem, os quais se apresentam seguidamente.

Como foi referido anteriormente, cada posto de trabalho tem um tempo fixo para concluir a(s) tarefa(s), denominado por tempo de ciclo. O tempo mínimo do ciclo corresponde, normalmente, à duração da tarefa mais demorada e o tempo máximo à soma dos tempos de todas as tarefas a desempenhar; este tempo estabelece a capacidade da linha.

Deste modo, a capacidade da linha é o tempo total que a linha funciona ( $L$ ) a dividir pelo tempo de ciclo ( $C$ ).

$$\textit{Capacidade} = \frac{L}{C} \quad (1)$$

Se considerarmos a possibilidade de existirem postos paralelos não é necessário limitar o tempo de ciclo à duração da tarefa mais longa, podendo este ser determinado pelo quociente entre o tempo total de laboração da linha de montagem e a quantidade necessária para satisfazer a procura ( $P$ ), durante esse tempo.

$$C = \frac{L}{P} \quad (2)$$

É de salientar que as unidades pretendidas para satisfazer a procura são um valor escolhido, um valor que se pretende atingir, podendo, nesta situação, ser calculado o tempo de ciclo.

A dificuldade principal incide em agrupar e afectar as tarefas individuais em postos de trabalho, tendo em conta a sequência das tarefas (precedências), restrições e o tempo de execução das tarefas afectadas a um posto, que não pode exceder o tempo de ciclo.

Para ser possível analisar as soluções de balanceamento obtidas podem ser utilizados diversos tipos de medidas. Uma das mais utilizadas é a quantidade mínima teórica de postos de trabalho necessários para providenciar uma determinada quantidade de produto, determinado através da seguinte fórmula:

$$N_{min} = \frac{\sum t}{c} \quad (3)$$

sendo,

$N_{min}$  = Número teórico mínimo de postos;

$\sum t$  = Soma dos tempos de todas as tarefas;

C = tempo de ciclo;

Um outro indicador muito utilizado é a percentagem do tempo inactivo na linha que se pode calcular da seguinte forma:

$$\% \text{ tempo inactivo} = \frac{\text{tempo inactivo por ciclo}}{N_{actual} \times C} \quad (4)$$

onde,

$$N_{actual} = \text{Número actual de postos} \quad (5)$$

A eficiência da linha é tanto maior quanto menor for a percentagem de tempo inactivo; uma linha balanceada apresenta um valor elevado de eficiência.

$$\text{Eficiência da Linha} = 100\% - \% \text{ tempo inactivo} \quad (6)$$



É crucial efectuar o balanceamento da linha para facilitar o planeamento e a execução do produto, dado que uma linha balanceada torna a produção mais organizada, mais rápida e mais eficiente, permitindo uma maior fluidez na capacidade da linha.

A meta de equilibrar as cargas de trabalho entre os trabalhadores<sup>[8]</sup> é alcançada pela minimização da função do Equilíbrio das Cargas (E):

$$E = \frac{N}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{S_i}{\sum S_i} - \frac{1}{N} \right)^2 \quad (7)$$

onde,

N – Nº Postos de trabalho na linha

S<sub>i</sub> – Tempo inactivo no posto i

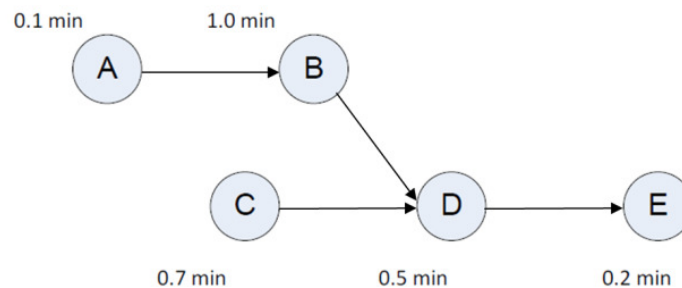
E – Equilíbrio entre cargas (varia entre 0 e 1)

Os valores de E variam entre um mínimo de zero, quando a linha apresenta o tempo ocioso igualmente distribuído por todos os colaboradores e um máximo de um, quando o tempo ocioso está totalmente concentrado num dos postos.

Para auxiliar na resolução do problema de balanceamento de uma linha de montagem surgiram os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) que, sendo introduzida a informação por estes requerida, conseguem de uma forma mais rápida gerar e avaliar, com bases em alguns indicadores, um maior conjunto de soluções para o problema em causa.

Sendo assim, para balancear uma linha de montagem é necessário definir restrições e precedências e medir o trabalho, para ser possível determinar os tempos de execução<sup>[10]</sup>. Estes dados podem então ser introduzidos no(s) SAD de forma a gerar resultados passíveis de análise.

Quanto à definição das precedências, uma ferramenta usual para as representar graficamente é o diagrama de precedências<sup>[10]</sup>. Este diagrama é um grafo em que os nós representam as  $N$  tarefas (numeradas  $i = 1, \dots, N$ ), cada qual com um determinado tempo de execução, e cada arco estabelece uma relação de precedência entre duas tarefas.

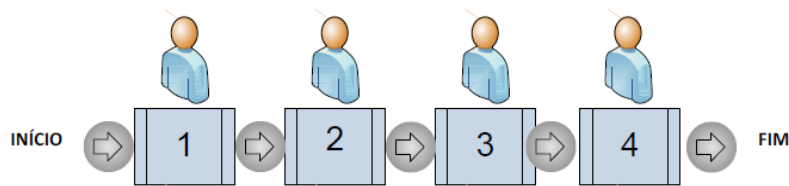


**Figura 5** – Exemplo de um Diagrama de Precedências (adaptado de Stevenson<sup>[10]</sup>)

A título de exemplo a figura anterior representa um diagrama de precedências. A sua leitura deverá ser efectuada da esquerda para a direita, seguindo a orientação das setas<sup>[10]</sup>. Deste modo, a tarefa  $B$  pode ser executada após a tarefa  $A$ , assim como a tarefa  $E$  será executada após a  $D$  estar concluída. É de salientar que a tarefa  $D$  só poderá ser efectuada após as tarefas  $C$  e  $B$  estarem concluídas.

Quanto às potenciais configurações serão analisadas três possibilidades de organização de uma linha de montagem: Linha tradicional (em recta), Linha flexível em “U” e Linha de dois lados.

Nas **linhas de montagem tradicionais**<sup>[8]</sup>, os conjuntos são agrupados sequencialmente e o problema de balanceamento exige que um tempo de ciclo seja definido, tendo em consideração a procura de diferentes modelos de um único produto, pequenas variações do mesmo produto ou produtos similares, que sejam montados na mesma linha.



**Figura 6 – Linha Tradicional**

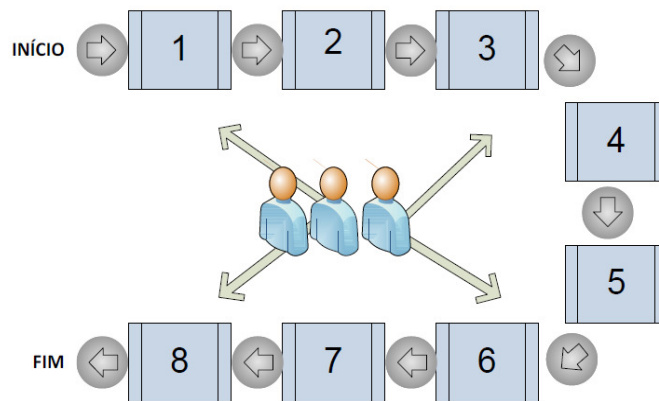
Os operários estão dispostos ao longo da linha de montagem em posições paralelas e desempenham um número de tarefas reduzido <sup>[4]</sup>. Segundo Vilarinho e Simaria <sup>[12]</sup> as qualificações dos colaboradores são baixas, no entanto podem ser facilmente treinados, recebendo a formação adequada, pois realizam tarefas com um baixo nível de exigência.

Vilarinho e Simaria <sup>[12]</sup> defendem que, para que o balanceamento seja feito de uma forma mais realista, é necessário considerar as seguintes questões:

- (i) A linha poderá ser usada para montar um conjunto de produtos semelhantes;
- (ii) As tarefas a realizar ao longo da linha poderão ter que ser replicadas para criar postos de trabalho paralelos, quando a procura é tal que algumas tarefas têm um tempo maior do que o tempo de ciclo (considerando que o tempo de ciclo deverá ser definido tendo em conta o nível de procura para um determinado período de tempo – restrições de capacidade);
- (iii) A atribuição de tarefas a um determinado posto deve garantir as relações de precedências entre as mesmas, podendo existir situações em que se pretenda forçar ou proibir a afectação a um posto de um par de tarefas, sendo então necessário definir restrições de zona.

Estes autores apresentam vários procedimentos para a resolução do problema de balanceamento de linhas de montagem tradicionais, que consideram os aspectos referidos anteriormente e que têm por base diferentes meta-heurísticas (*Simulated Annealing* <sup>[4]</sup>, Algoritmos Genéticos <sup>[5]</sup> e Colónias de Formigas <sup>[6]</sup>). No capítulo 3 serão apresentados os resultados da aplicação destes procedimentos ao caso de estudo.

Quanto às **linhas de montagem flexíveis em “U”** verifica-se que, geralmente, o comprimento da linha é inferior às restantes configurações e os operários podem realizar tarefas em postos opostos ou adjacentes, aumentando o número de tarefas a desempenhar por cada trabalhador <sup>[11]</sup>.



**Figura 7** – Linha flexível em “U”

As linhas em forma de “U” têm as duas extremidades próximas e os operadores podem deslocar-se no interior do “U” para executar combinações de tarefas que não seriam admitidas numa linha de montagem tradicional <sup>[7]</sup>.

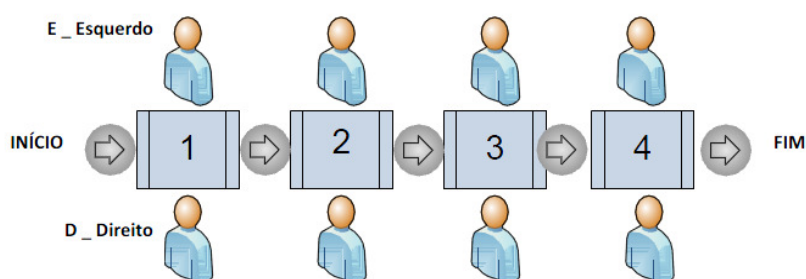
O espaço no interior do “U” é uma área partilhada pelos operadores e estes podem comunicar, aprender e ajudarem-se mutuamente nas tarefas a executar e, comparativamente com uma linha de montagem tradicional, a configuração “U” garante melhor visibilidade e facilita a comunicação entre os operadores e o trabalho em equipa, o que poderá auxiliar na resolução de problemas, assim como na atribuição de tarefas às estações de trabalho e na redução do número de postos de trabalho necessários <sup>[7]</sup>.

De notar que, nesta situação a distinção entre estação de trabalho e PT é diferente. Assim as estações de trabalho são os locais físicos da linha, aos quais são afectadas as tarefas, e os postos de trabalho correspondem aos trabalhadores que irão estar a actuar na linha. Aos postos de trabalho (ou trabalhadores) são afectadas tarefas que poderão ter que ser realizadas em estações diferentes, isto implica que um trabalhador possa ter que se deslocar entre diferentes locais (estações) da linha.

Adicionalmente, quando a procura sobe ou desce é possível aumentar ou diminuir o número de trabalhadores, ajustando, deste modo, a capacidade da linha e reafectando as tarefas aos trabalhadores. Um sistema destes requer colaboradores com alguma formação e capacidade de adaptação na realização de tarefas distintas.

Para considerar esta possibilidade e facilitar a sua implementação existem diferentes métodos desenvolvidos por vários investigadores, entre os quais o processo heurístico baseado na colónia de formigas, desenvolvido por Vilarinho e Simaria <sup>[12]</sup>, cuja aplicação ao caso em estudo será descrita no capítulo 3.

Um outro tipo de configuração diz respeito às **linhas de montagem de dois lados**, linhas de extrema utilidade especialmente na montagem de produtos de grande porte, tais como: automóveis, autocarros, camiões e aviões, em que algumas tarefas devem ser realizadas num sítio específico do produto e os operários podem desempenhar as tarefas de montagem nos dois lados da linha <sup>[6]</sup>.



**Figura 8 – Linha de Dois Lados**

A linha tem dois lados, (D\_ lado direito) e (E \_ lado esquerdo) e, geralmente, em cada posição há um par de operários frente a frente. Os dois operários, segundo Simaria e Vilarinho <sup>[6]</sup>, apesar de estarem em lugares opostos podem realizar, em paralelo, tarefas diferentes no mesmo item individual, mas de modo a garantir as precedências das tarefas e os constrangimentos.

Na óptica de Vilarinho e Simaria <sup>[6]</sup>, os estudos acerca dos problemas ALBP<sup>3</sup> para linhas de dois lados, não são adequados a situações de elevados níveis de personalização do produto, sendo a personalização um factor indispensável para que as empresas possam ser competitivas no mercado. Para poderem respeitar as tendências actuais exigidas pelo mercado é essencial, principalmente na fase final de linhas de montagem, tornar possível a personalização dos produtos, como acontece na indústria automóvel, em que o automóvel é ajustado às exigências do cliente.

Como já foi referido anteriormente, as linhas de dois lados adequam-se particularmente a produtos de grandes dimensões, no entanto, segundo Simaria e Vilarinho <sup>[6]</sup> os produtos de pequena dimensão, tal como os de grande porte, podem ter tarefas a serem executadas apenas em partes específicas do produto ou em ambos os lados da linha em simultâneo, por operadores diferentes. A previsão da procura exige que a linha opere com determinado tempo de ciclo, que

<sup>3</sup> ALBP - “assembly line balancing problem”

tem de ser calculado, assim como o total das unidades a ser produzido. O lado da linha onde é realizada uma tarefa é definido de acordo com o próprio processo de montagem e uma tarefa pode ser realizada:

- (i)** Em ambos os lados da linha;
- (ii)** Apenas num lado da linha;
- (iii)** Em simultâneo com outra tarefa no lado oposto da linha, sendo necessário um par de trabalhadores que irão operar simultaneamente.

Os autores <sup>[6]</sup> afirmam que segundo *Bartholdi* (1993), as linhas de dois lados, podem garantir diversas vantagens, como a redução:

- (i)** Do número de operários;
- (ii)** Do tempo de ciclo,
- (iii)** Do custo das ferramentas e equipamentos, porque podem ser partilhados pelos operários de ambos os lados da linha;
- (iv)** Dos custos da movimentação de materiais.

Neste contexto, é fundamental cumprir as precedências e os constrangimentos obedecendo a uma sequência, para que a afectação das tarefas seja eficiente <sup>[6]</sup>. As tarefas executadas em lados opostos da linha podem gerar dependência entre si devido a precedências e constrangimentos e podem originar tempo ocioso, caso uma tarefa tenha de esperar que a tarefa antecessora esteja a ser concluída no lado oposto da linha.

Os autores apresentam ainda um algoritmo baseado nas colónias de formigas para a resolução do problema de balanceamento de linhas de montagem com dois lados; este procedimento não foi aplicado ao caso de estudo pois considerou-se não ser adequado para o problema em causa.

Concluída a abordagem aos problemas existentes no balanceamento de uma linha de montagem, importa mencionar metodologias e equipamentos para efectuar a medição do trabalho, que permitam estabelecer os tempos das diversas tarefas de montagem.

## **2.2. Medição de Trabalho**

De acordo com a literatura <sup>[10]</sup>, a medição do trabalho é responsável pela determinação do tempo necessário para completar operação ou tarefa.

O conhecimento do processo até que uma unidade seja concluída auxilia a gerir a produção, sendo indispensável medir o trabalho para distribuir de forma equilibrada a carga do mesmo.

Os métodos para realizar a medição de trabalho são variados, sendo diversas as formas de determinar os padrões de trabalho e os equipamentos utilizados para o efeito.

Os métodos de medição de trabalho mais utilizados actualmente nas organizações <sup>[10]</sup> são quatro. Serão apresentados de seguida, dando maior ênfase ao método de estudo de tempos (ponto 2.2.1.), uma vez que foi o método posto em prática, para permitir o desenvolvimento do caso de aplicação.

### **2.2.1. Estudo de tempo com cronómetro:**

É uma técnica que surgiu nos finais do séc. XIX, desenvolvida por *Frederick Winslow Taylor*, e aplica-se a tarefas curtas e repetitivas, sendo a técnica mais utilizada para desenvolver um tempo padrão <sup>[10]</sup>. O tempo padrão fornece a indicação do tempo que um operário com desempenho médio tem para desempenhar um trabalho, executado sob restrições e possíveis atrasos. Este padrão pode ser definido com base nas observações relativas a um operário durante determinado número de ciclos e aplica-se ao trabalho de todos os outros operários da organização que executam a mesma tarefa. O observador <sup>[2]</sup> deve ficar de pé, poucos metros atrás do operador que está a observar, de modo a não o distrair ou interferir no seu trabalho e seguir os seus movimentos. Durante o estudo, o observador deve evitar conversar com o operador, o que poderia distrair o trabalhador ou alterar a sua rotina.

São quatro os passos essenciais para aplicar esta técnica <sup>[10]</sup>:

- a) Definir a tarefa que vai ser estudada e informar o operário;
- b) Determinar o número de ciclos a observar;
- c) Registar o tempo de execução do trabalho e a taxa de desempenho do operário;
- d) Calcular o tempo padrão.

O analista que estuda o trabalho <sup>[10]</sup> deve estar familiarizado com ele, para se poder certificar de que os trabalhadores não estão a adulterar os resultados durante a observação, na esperança de

ganhar um padrão que permita mais tempo de folga. Além disso, o analista terá de verificar se o trabalho está a ser realizado eficientemente, antes de definir o tempo padrão. Geralmente, os trabalhadores sentem-se desconfortáveis com o estudo, por medo e pelas alterações que daí possam resultar, assim sendo, a literatura <sup>[10]</sup> defende que o analista deve dialogar com o trabalhador antes de estudar uma operação para, deste modo, afastar medos e conquistar a cooperação do trabalhador.

O número de ciclos é baseado em três pontos:

- a) Variação nos tempos observados;
- b) Precisão desejada;
- c) Nível de confiança desejado.

O tamanho da amostra será determinado utilizando a fórmula seguinte:

$$n = \left( \frac{Z \cdot S}{a \cdot \bar{X}} \right)^2 \quad (8)$$

sendo,

$n$  = Número de observações necessárias;

$Z$  = Número de desvios padrão normais necessários para a confiança desejada;

$S$  = Desvio padrão das observações;

$a$  = Precisão pretendida em percentagem;

$\bar{X}$  = Média das observações.

Os valores de  $z$ , para quaisquer percentagens de confiança, podem ser obtidos através da consulta de uma tabela da Distribuição Normal Padronizada (ver, por exemplo, página 573 de [1]), sendo os valores mais usados os seguintes:



**Tabela 1** – Percentagem de Confiança dos Valores de Z <sup>[10]</sup> p.325

Confiança desejada (%)	Valores Z
90	1.65
95	1.96
95.5	2.00
98	2.33
99	2.58

Em alternativa, quando se parte de uma precisão desejada, poderá ser aplicada <sup>[10]</sup>:

$$n = \left( \frac{Z \cdot S}{e} \right)^2 \quad (9)$$

onde,

$e$  = Precisão ou máximo erro aceitável.

Tendo em conta a literatura <sup>[10]</sup> para fazer uma estimativa preliminar do tamanho da amostra, é necessário ter um determinado número de observações, entre 10 e 20, e calcular os respectivos valores de  $\bar{x}$  e  $s$  a utilizar na fórmula de  $n$ . Perto do final do estudo, o analista pode reavaliar  $n$  usando estimativas revistas de  $\bar{x}$  e  $s$  baseadas nos dados disponíveis.

As fórmulas (8) e (9) podem ou não ser utilizadas na prática, dependendo da pessoa que está a realizar o estudo do tempo. Segundo a literatura <sup>[10]</sup>, muitas vezes, um analista experiente contará com o seu próprio julgamento para decidir o número de ciclos. No que diz respeito ao cálculo de um tempo padrão, este envolve três etapas <sup>[10]</sup>:

a) Tempo observado  $OT$  - média dos tempos registados;

$$OT = \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (10)$$

onde,

$\sum x_i$  = Somatório dos tempos registados;

$n$  = Número de observações.

b) Tempo normal  $NT$  – tempo ajustado ao desempenho do trabalhador;

$$NT = OT \times RF \quad (11)$$

onde,

RF = Classificação do desempenho;

O Tempo Normal é o tempo que um trabalhador deve ter para executar uma tarefa, se não houver atrasos ou interrupções, não tendo em conta factores de atrasos, tais como: pessoais (obter uma bebida ou ir às instalações sanitárias), gerais (ajustes de máquinas e reparações, falar com um supervisor, esperar por materiais), ou pausas <sup>[10]</sup>.

Para um trabalho é atribuída uma única classificação relativa ao desempenho do operário. Se as classificações são efectuadas elemento a elemento, o tempo normal é obtido pela multiplicação do tempo médio de cada elemento pelo seu desempenho, somando todos esses valores.

$$NT = \sum (\bar{x}_j \times RF_j) \quad (12)$$

onde,

$\bar{x}_j$  = Tempo médio para o elemento  $j$ ;

$RF_j$  = Classificação do desempenho para o elemento  $j$ .

O trabalhador que está a ser observado, pode estar a trabalhar a um ritmo diferente do "normal", quer num ritmo lento propositadamente ou porque as suas capacidades naturais diferem da norma e, neste contexto, o observador deve atribuir um desempenho para ajustar os tempos observados a um ritmo "médio", sendo o valor normal deste factor 1,00 <sup>[10]</sup>. Para trabalhos longos a classificação pode ser única para um ciclo inteiro. Ao avaliar o desempenho, o analista deve comparar o desempenho observado com o seu conceito de normalidade.

Tendo em conta a literatura <sup>[10]</sup>, não há uma maneira de contornar avaliações subjectivas, no entanto, existem filmes de linhas a funcionar que podem proporcionar um maior grau de coerência nas classificações do desempenho.

c) Tempo padrão  $ST$  - tempo normal acrescido da tolerância para compensar atrasos;

$$ST = NT \times AF \quad (13)$$

onde,

$AF$  = Factor de tolerância.

Na página 328 de Stevenson <sup>[10]</sup> é possível consultar os valores de tolerância típicos para as condições de trabalho. Se a atribuição da tolerância é baseada no tempo que um trabalho demora, o factor deve ser calculado segundo a fórmula:

$$AF_{trabalho} = 1 + A \quad (14)$$

onde,

$A$  = Factor de compensação.

Geralmente <sup>[10]</sup> utiliza-se a fórmula anterior, quando diferentes trabalhos apresentam diferentes tolerâncias. Se as tolerâncias são baseadas na percentagem de tempo de execução de um dia de trabalho a fórmula apropriada será:

$$AF_{dia} = \frac{1}{1 - A} \quad (15)$$

onde,

$A$  = Percentagem de tolerância baseada no tempo de execução durante um dia;

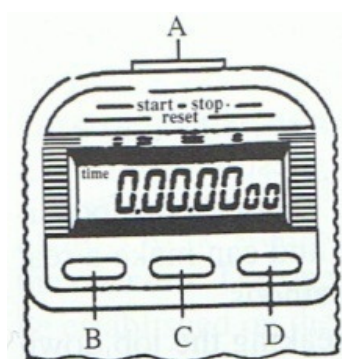
Relativamente ao **equipamento** utilizado neste método de medição de trabalho, segundo a literatura <sup>[2]</sup> existem dois tipos de cronómetro:

a) Relógio decimal com 100 divisões, cada uma correspondente a 0.01 minutos;



**Figura 9** – Relógio Decimal (Meylan Stopwatch Co.)<sup>[2]</sup>

b) Cronómetro electrónico.



**Figura 10** – Cronómetro Electrónico <sup>[2]</sup>

Todos os detalhes da observação e tempos devem ser anotados num formulário, onde deve constar espaço para registar todas as informações pertinentes sobre o método a ser utilizado: quais os instrumentos usados, qual a operação a ser estudada e respectivo nome, nome e número do operário, descrição da operação, nome e número das máquinas e ferramentas utilizadas e qual o posto de trabalho onde a operação é executada <sup>[2]</sup>. O formulário deverá ser suficientemente flexível para poder ser utilizado para praticamente qualquer tipo de operação. O observador regista horizontalmente os vários elementos da operação na parte superior da folha e verticalmente, preenche as colunas que dizem respeito ao OT (média dos tempos observados) e

NT (tempo normal) (ver ANEXO I). As informações registadas acerca do trabalho a ser estudado são indispensáveis para compreender o processo.

### **2.2.2. Tempos Históricos**

Segundo a literatura <sup>[10]</sup>, os dados das observações dos estudos dos tempos de vários trabalhos são acumulados e, normalmente, guardados num ficheiro. O analista pode então consultar estes dados, eliminando a necessidade de obter observações. O procedimento para a utilização desta técnica rege-se pelas seguintes etapas <sup>[10]</sup>:

- a) Analisar o trabalho para identificar os elementos padrão;
- b) Verificar o arquivo dos elementos que têm os tempos históricos, e gravá-los;
- c) Modificar o arquivo se for necessário;
- d) Calcular o tempo normal e o tempo padrão.

Em alguns casos <sup>[10]</sup>, os dados do arquivo podem não pertencer exactamente à tarefa em estudo, no entanto, é possível efectuar uma interpolação entre os valores do ficheiro para obter o tempo desejado. Uma vantagem desta abordagem é o potencial de poupança de custos e de esforço que resulta do facto de não ser necessário realizar um estudo completo para cada tarefa. Uma segunda vantagem é que há menos interrupções de trabalho, tendo em conta que o analista não observa o trabalhador. Uma terceira vantagem é que a classificação do desempenho já deverá estar calculada nos dados do arquivo.

A principal desvantagem desta abordagem é que, por vezes, podem não existir elementos suficientes para torná-la exequível, e os valores do arquivo podem ser distorcidos ou imprecisos.

### **2.2.3. Dados Predeterminados**

Para utilizar este método <sup>[10]</sup>, o analista tem de dividir o trabalho nos seus elementos básicos (alcançar, mover, rodar, desengatar, ...), medir as distâncias envolvidas (se aplicável), a taxa da dificuldade do elemento e, em seguida, consultar a tabela de dados adequados para obter o tempo necessário para esse elemento. O tempo padrão para o trabalho é obtido pelo somatório de todos os tempos dos elementos básicos. Os tempos dos elementos básicos são medidos em TMUs (*Time Measurement Unit*), sendo um minuto igual a 0,0006 TMUs. Um minuto de trabalho pode abranger poucos elementos básicos e um trabalho típico pode envolver vários, cem ou mais, destes elementos básicos. O analista necessita de uma capacidade considerável de análise para descrever adequadamente o funcionamento e desenvolver uma estimativa realista. É necessário

que os analistas recebam formação para gerar o tempo padrão. São de realçar os seguintes pontos positivos deste método:

- a) Os dados destas tabelas baseiam-se na observação de um grande número de trabalhadores em condições controladas;
- b) Ao analista não é exigida a determinação da taxa de desempenho dos trabalhadores;
- c) Não há interrupção do trabalho pois não há observação directa dos trabalhadores;
- d) Os tempos padrão podem ser estabelecidos antes mesmo de uma tarefa estar a ser efectuada.

Embora os defensores desta técnica afirmem que esta é muito mais precisa do que os estudos realizados com o cronómetro, nem todos os investigadores concordam com a afirmação <sup>[10]</sup>. Alguns argumentam que a actividade muitas vezes é demasiado específica para uma determinada operação e deve ser generalizada a partir de dados publicados, enquanto outros argumentam que os diferentes analistas interpretam a actividade de diferentes maneiras, e que este facto pode afectar negativamente o desenvolvimento do estudo dos tempos e produzir estimativas variando o tempo entre os analistas. Outros ainda afirmam que os analistas divergem sobre o grau de dificuldade a atribuir a uma determinada tarefa e assim obtêm tempos padrão diferentes.

#### **2.2.4. Amostragem**

É uma técnica para estimar a proporção de tempo que um trabalhador ou máquina gasta em diversas actividades e qual o respectivo tempo ocioso <sup>[10]</sup>.

O analista faz breves observações de um trabalhador ou máquina em intervalos aleatórios e observa a natureza da actividade. Os dados obtidos são contagens do número de vezes que cada categoria de actividade ou não actividade foi observada.

O método de amostragem inclui alguma margem de erro. É importante tratar a amostragem como forma de obter estimativas da proporção do tempo dedicado a uma determinada actividade.

O objectivo é obter uma amostra que forneça uma estimativa, de confiança específica, não diferindo do valor verdadeiro por mais de um determinado erro. Projectado para produzir um valor de  $\hat{p}$ , que estima a verdadeira proporção,  $p$ , dentro do erro,  $e: \hat{p} \pm e$ .

A variabilidade associada à amostra de  $p$  estimativas tende a ser aproximadamente normal para amostras grandes e com nível desejado de confiança.

Para grandes amostras, o erro máximo pode ser calculado utilizando a fórmula seguinte:

$$e = z \sqrt{\frac{p(1 - \hat{p})}{n}} \quad (16)$$

onde,

$z$  = Número de desvios-padrão desejado para a confiança necessária a alcançar;

$\hat{p}$  = Estimador da proporção da amostra (número de ocorrências dividido pelo tamanho da amostra);

$n$  = Tamanho da amostra ou número de observações.

Segundo a literatura <sup>[10]</sup> o analista deve especificar o nível de confiança pretendido e a dimensão admissível de erro para determinar a dimensão da amostra suficiente para a obtenção dos resultados pretendidos. O valor adequado para o  $n$  pode ser determinado através da seguinte expressão:

$$n = \left(\frac{z}{e}\right)^2 \hat{p}(1 - \hat{p}) \quad (17)$$

O procedimento geral é constituído pelas seis seguintes etapas <sup>[10]</sup>:

- a) Identificar claramente o(s) trabalhador(es) ou máquina(s) a ser(em) estudado(s);
- b) Avisar os trabalhadores e supervisores da finalidade do estudo para evitar suspeitas;
- c) Calcular uma estimativa inicial do tamanho da amostra utilizando uma estimativa preliminar de  $p$ , se disponível (por experiência ou por análise dos últimos dados), caso contrário, usar  $p = 0,50$ ;
- d) Desenvolver um cronograma de observação aleatória;
- e) Recalcular o tamanho da amostra várias vezes durante o estudo;
- f) Determinar a proporção estimada de tempo gasto com a actividade em estudo.

É importante, segundo a literatura <sup>[10]</sup>, obter observações aleatórias para alcançar resultados válidos e as observações devem ser repartidas para que uma verdadeira indicação de variabilidade seja obtida. O grau em que as observações devem ser aumentadas dependerá, em parte, da natureza da actividade estudada.

Neste contexto, é calculado o tempo padrão de uma tarefa, considerando a percentagem de tempo que o trabalhador dedica a essa tarefa e a respectiva compensação.

De realçar que, após a análise dos métodos de medição de trabalho, referidos anteriormente, elegeu-se o método de estudo de tempos com o cronómetro para aplicar ao caso de estudo.

Partindo da literatura consultada, no capítulo seguinte a metodologia é aplicada à linha de montagem de bicicletas que serve de referência para o desenvolvimento deste trabalho. O caso estudado é, portanto, uma aplicação da literatura sobre os problemas existentes no balanceamento de uma linha de montagem e procura explicar as razões, situações e modo de actuação para colmatar os problemas de balanceamento, com o intuito de obter uma linha de montagem altamente eficiente.



# Capítulo 3

---

## **Balanceamento da Linha de Montagem da Sportis**

*3.1. Descrição do Processo Produtivo*

*3.2. Recolha de Dados*

*3.3. Balanceamento da Linha de Montagem*

*3.4. Comparação de Resultados*

### 3. Balanceamento da Linha de Montagem da Sportis

Os métodos referidos no capítulo 2 foram estudados, consultados e enunciados nas referências e serão parcialmente aplicados a um sistema real, precisamente a linha de montagem de bicicletas implementada na *Sportis Indústria*, cumprindo os objectivos estabelecidos no capítulo 1.

Relativamente à montagem propriamente dita, esta obedece a uma sequência de tarefas com precedências e restrições. Para compreender o funcionamento da Linha de Montagem procedeu-se ao levantamento das tarefas necessárias para completar uma unidade de produto acabado (53 tarefas), que foram numeradas de 1 a 53 e registadas numa tabela com as respectivas precedências (Anexo III) e posteriormente fotografadas para ilustrar a sequência das tarefas aquando da descrição do processo. Foi também desenhada a Planta da Linha (Anexo II) para facilitar a interpretação da configuração original das estações de trabalho, carrinhos de transporte, localização das máquinas, entre outras. Além disso, foram afixados painéis em todos os PT, com as imagens e respectivos pontos-chave a ter em conta ao desempenhar a(s) tarefa(s) em questão. A título de exemplo, a figura 11, representa o painel do PT que diz respeito à etapa final da Montagem dos Pneus. A leitura do painel deverá ser efectuada da esquerda para a direita, linha a linha. Em primeiro lugar o colaborador deverá posicionar o pipo da roda no orifício para receber a pressão de ar adequada e em seguida deverá colocar o aperto rápido, caso seja a roda da frente. Caso se trate da roda de trás, deve visualizar no painel a linha das fotos inferiores, deverá ser colocado o pipo a 90°, receber a pressão de ar adequada e em seguida colocar o disco protector dos raios, colocar e apertar o carreto e finalmente apontar as porcas.



Figura 11 – Painel da Montagem dos Pneus

No ponto seguinte é feita a descrição detalhada e respectiva ilustração do processo produtivo que serve de base para o desenvolvimento do presente caso de estudo.

### 3.1. Descrição do Processo Produtivo

Importa compreender as etapas de montagem e quais os componentes necessários para que uma unidade seja concluída. Sendo assim, em primeiro lugar será apresentada a árvore do produto e em seguida a descrição detalhada da sequência das tarefas.

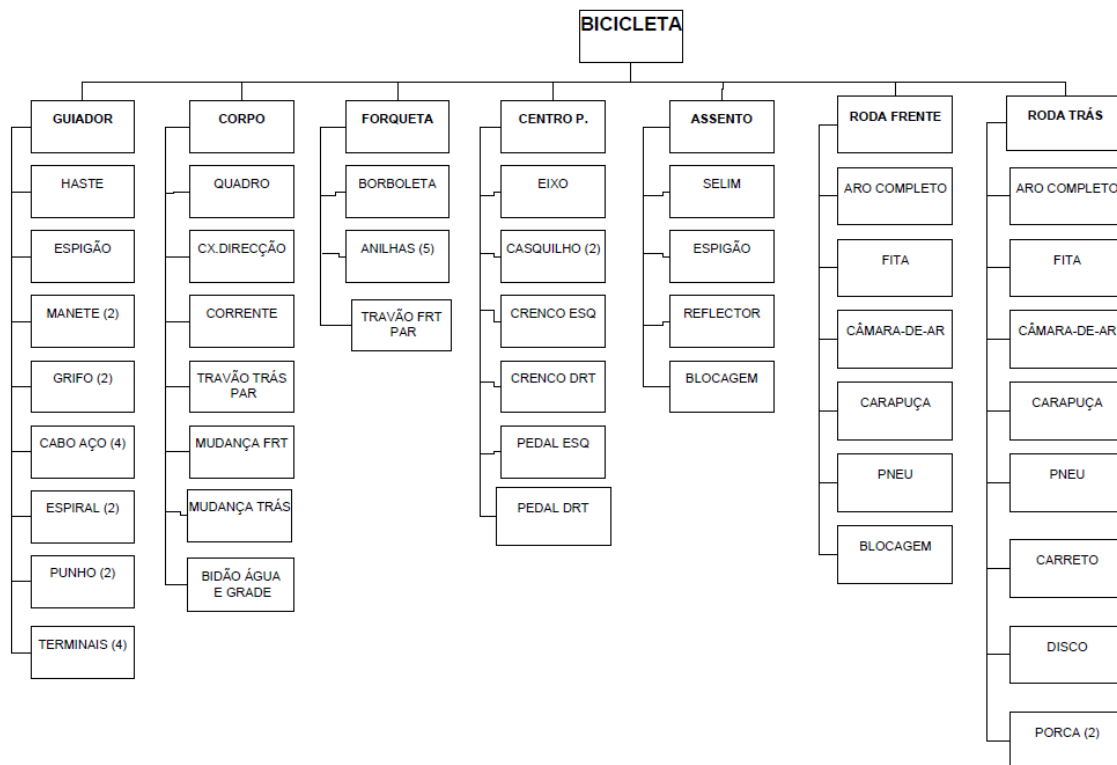


Figura 12 – Árvore do Produto

A imagem seguinte diz respeito à configuração da linha de referência em análise (ver Anexo II) e de seguida é descrito o processo obedecendo à numeração das 53 tarefas registadas no Anexo III.



Figura 13 – Linha de Montagem de Referência

A linha de montagem inicia a interligação dos postos de forma manual, com a abertura da caixa dos quadros <sup>tarefa 1</sup> e com o retirar das tampas dos travões <sup>tarefa 27</sup> (estas tampas podem ser retiradas mais tarde, ou seja, antes de colocar a massa e apertar os travões). É também retirado o papel que protege a pintura do quadro e coloca-se o quadro num carrinho <sup>tarefa 2</sup>, como se pode visualizar na figura seguinte.



**Figura 14** – Transporte dos quadros para o posto seguinte

O cartão que se vai amontoando deve ser guardado numa paleta <sup>tarefa 3</sup>, para posteriormente ser encaminhado para a reciclagem.

O passo seguinte é retirar o quadro do carrinho de transporte e colocá-lo na máquina para aplicar a caixa de direcção <sup>tarefa 4</sup> e em simultâneo aplicar o movimento central <sup>tarefa 5</sup>, como exemplificado na figura 15. É então colocado o quadro na árvore de suporte <sup>tarefa 6</sup>, para aplicar a grade e o bidão da água <sup>tarefa 7</sup>, assim como a blocagem rápida do selim <sup>tarefa 51</sup>. A blocagem do selim não terá obrigatoriamente de ser introduzida nesta fase, pois poderá ser agrupada logo no início do processo ou mais tarde, até ser aplicado o selim.



**Figura 15** – Da esquerda para a direita: aplicação da caixa de direcção, movimento central e grade do bidão da água

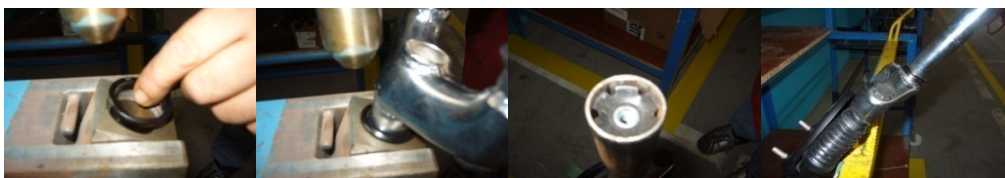
O conjunto permanece na árvore ou é colocado num carrinho de transporte.

No passo seguinte vai ser agrupado ao conjunto a forqueta <sup>tarefa 10</sup> e o guiador <sup>tarefa 18</sup>, para posteriormente o conjunto dar entrada na linha automática (figura 16).



**Figura 16** – Da esquerda para a direita: aplicação da forqueta e do guiador

Para desempenhar a tarefa 10 é necessário retirar o plástico que protege a forqueta e as tampas para posteriormente poder fixar o travão da frente <sup>tarefa 8</sup> e aplicar a borboleta na forqueta <sup>tarefa 9</sup>, sequência demonstrada na figura 17.



**Figura 17** – Da esquerda para a direita: borboleta na forqueta e aplicar forqueta ao quadro

Relativamente ao agrupamento das componentes do guiador, é necessário preparar as hastes e os espigões dos guiadores <sup>tarefa 11</sup> e apertar o espigão na haste do guiador <sup>tarefa 12</sup>. Paralelamente são preparadas as manetes, grifos e punhos <sup>tarefa 13</sup>, para os colocar na haste do guiador <sup>tarefa 14</sup>. Nesta fase o conjunto passa ao posto seguinte para apertar os grifos e as manetes <sup>tarefa 15</sup> e serem aplicados os cabos de travões <sup>tarefa 16</sup> e as espirais <sup>tarefa 17</sup> (figura 18). Está concluído o guiador e pode ser apertado no quadro juntamente com a forqueta.



**Figura 18** – Da esquerda para a direita: preparar e agrupar componentes do guiador

Posteriormente o conjunto é engatado num tubo que se encontra na vertical em relação à linha de terra (figura 19) que faz parte de um tapete de transporte automático (ver Anexo II- rectângulo maior, e figura 13 onde se pode visualizar o aspecto geral da linha).

O conjunto fica suspenso e vai girar segundo a velocidade regulada por um potenciómetro.



**Figura 19** – Conjunto pendurado no tubo vertical

No tapete automático são engatados os cabos nos passadores <sup>tarafa 19</sup>, são posicionados <sup>tarafa 22</sup> e apertados <sup>tarafa 23</sup> o crenco e a pedaleira e colocadas as respectivas tampas <sup>tarafa 24</sup>. São aplicadas a mudança de trás <sup>tarafa 20</sup> e a mudança da frente ou desviador <sup>tarafa 25</sup> e é fixado o cabo da mudança de trás <sup>tarafa 21</sup>. É posta a massa nos espigões dos travões do quadro e da forqueta <sup>tarafa 28</sup>, para serem posicionados <sup>tarafa 29</sup> e apertados <sup>tarafa 30</sup>. A corrente é cravada <sup>tarafa 31</sup> e as rodas da frente <sup>tarafa 41</sup> e de trás <sup>tarafa 42</sup> são aparafusadas. Previamente, é necessário proceder, à junção dos componentes da roda, para realizar as tarefas 41 e 42.



**Figura 20** – Da esquerda para a direita: colocar fita no aro e agrupar aro à câmara-de-ar e ao pneu

Deste modo, é colocada a fita no aro da roda da frente <sup>tarafa 32</sup> e de trás <sup>tarafa 33</sup>, são agrupados pneu, câmara-de-ar e aros da frente <sup>tarafa 34</sup> e trás <sup>tarafa 35</sup> (figura 20), posteriormente encaixados com auxílio de uma máquina, quer seja a roda da frente <sup>tarafa 36</sup>, quer seja a roda de trás <sup>tarafa 37</sup>.



**Figura 21** – Da esquerda para a direita: montagem da roda de trás



Caso seja uma roda de trás (figura 21), com a ajuda da máquina o pneu e a câmara-de-ar são encaixados no aro, é colocada a pressão de ar correcta na câmara-de-ar, são apontadas as porcas e é apertada a carapuça <sup>tarefa 39</sup>, para em seguida serem aplicados carreto, disco e porcas <sup>40</sup>.



**Figura 22** – Da esquerda para a direita: montagem da roda da frente

No caso de ser uma roda da frente (figura 22) com a ajuda da máquina o pneu e a câmara-de-ar são encaixados no aro, é dada a pressão de ar correcta, apertado o aperto rápido da roda e a carapuça <sup>tarefa 38</sup>.

Quando as rodas estão concluídas são colocadas nos ganchos livres da linha automatizada, como se pode verificar na figura 23.



**Figura 23** – Rodas penduradas nos ganchos

De novo no tapete automático, é aplicada a roda da frente <sup>tarefa 41</sup> e encaixada a corrente e apertada a roda de trás <sup>tarefa 42</sup>, é apertado o cabo da mudança da frente <sup>tarefa 26</sup> e são afinadas as mudanças <sup>43</sup>. Os cabos dos travões são apertados <sup>tarefas 44 e 45</sup> e afinados <sup>tarefas 46 e 47</sup>.

São aplicados os pedais <sup>tarefa 48</sup> e aparados os cabos das mudanças e dos travões e aplicados os respectivos terminais <sup>tarefa 49</sup> (figura 24).



**Figura 24** – Da esquerda para a direita: afinação de mudanças e travões, aparar terminais e bicicleta

A bicicleta está praticamente concluída e vai ser retirada da linha de montagem <sup>tarefa 50</sup> para lhe ser aplicado o selim <sup>tarefa 53</sup>, com a respectiva blocagem rápida <sup>tarefa 51</sup>. Previamente o espigão é apertado ao selim <sup>tarefa 52</sup>, como exemplifica a figura 25.



**Figura 25** – Da esquerda para a direita: agrupar componentes do selim e respectiva aplicação no quadro

Quando a bicicleta fica concluída é transportada para a zona de armazenamento até que sejam efectuados os respectivos carregamentos (figura 26).



**Figura 26** – Armazenamento das bicicletas

O ponto seguinte diz respeito ao procedimento da recolha dos dados e análise dos mesmos.



### 3.2. Recolha de Dados

Como já foi referido anteriormente as 53 tarefas necessárias para completar uma unidade de produto acabado e respectivas precedências foram numeradas e registadas no Anexo III. A tabela seguinte representa as primeiras 5 tarefas, a título de exemplo (em anexo pode ser consultada a tabela na íntegra).

**Tabela 2** – Estrutura da tabela do Anexo III \_ numeração das tarefas e precedências

		Actividades			
		Descrição	Precedências		
Tarefas	1	Abrir a Caixa de Cartão			
	2	Retirar o Papel do Quadro e Colocá-lo no Carrinho	1		
	3	Arrumar Caixa de Cartão	2		
	4	Tirar Quadro do Carrinho e Aplicar Caixa de Direcção na máquina	2		
	5	Aplicar Movimento Central	2		

Posteriormente procedeu-se à recolha da sua duração em segundos, com duas casas decimais. O equipamento usado foi o cronómetro digital.

Para certificar o número suficiente das  $n$  observações a recolher, foi usada a fórmula (8), considerando um nível de confiança de 95% e um desvio da normal de 1,96. Foi então criada a tabela do Anexo IV, onde foram registados 10 tempos de execução para cada uma das 53 tarefas enunciadas em Anexo III, e efectuados os cálculos relativos à média de duração ( $\bar{x}$ ), desvio padrão e quantidade de observações ( $n$ ) a serem recolhidas.

**Tabela 3** – Estrutura da tabela do Anexo IV \_ recolha de tempos, média, desvio padrão e nº de amostras

		Tempo												
Tarefas		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	$\bar{x}$	s	n
1		3,91	3,76	4,15	3,86	3,63	3,97	4,55	3,93	4,42	3,77	3,995	0,29	8,4
2		59,78	55,81	56,61	59,47	59,89	52,09	48,73	53,13	58,27	59,89	56,37	3,9	7,4
3		17,04	17,26	16,97	18,23	19,56	15,89	19,97	17,93	16,64	17,77	17,73	1,27	7,9
4		6,82	7,16	7,75	6,45	7,56	7,15	6,93	6,78	7,72	7,03	7,135	0,43	5,5
5		41,22	44,21	38,75	37,67	48,81	45,27	43,19	42,37	43,62	45,21	43,03	3,26	8,8

A tabela anterior diz respeito à recolha dos tempos das primeiras 5 tarefas. Sendo assim, a recolha da duração das tarefas a desempenhar para que uma unidade seja concluída, foi realizada de acordo com a figura anterior e no Anexo IV podem ser consultados todos os dados relativos à recolha da duração de cada uma das 53 tarefas.

Na recolha dos dados relativos à duração de cada tarefa, regra geral, foram recolhidas 10 observações ( $T_1 \dots T_{10}$ ); no entanto, não havia a necessidade de recolher as 10 observações para todas as tarefas. Por exemplo, para a tarefa 4, que consiste em aplicar a caixa de direcção no quadro com a ajuda de uma máquina, havia apenas a necessidade de recolher cerca de 6 amostras, uma vez que  $n = 5,53$ .

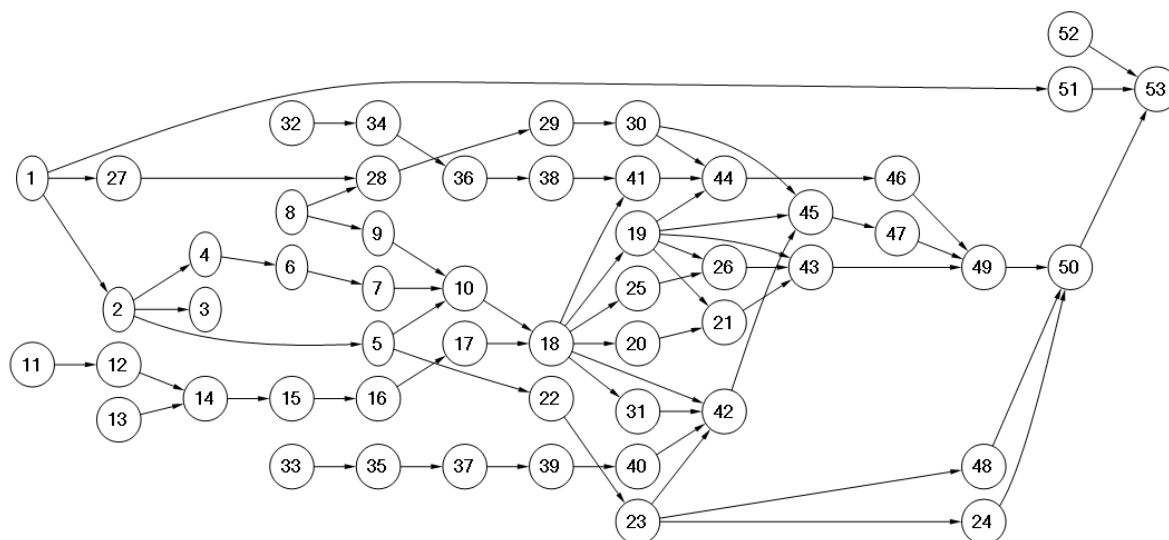
Foram ainda calculados o Tempo Normal (NT) e Tempo Padrão (ST) após a atribuição dos factores de desempenho e a compensação da fadiga, sendo assim construída a tabela do Anexo V (a título de exemplo a tabela seguinte apresenta os valores das cinco primeiras tarefas).

**Tabela 4** – Estrutura da tabela do ANEXO V \_ Cálculo do NT e ST

		Factor Desempenho <b>RF</b>	Tempo Normal <b>NT (s)</b>	Compensação Fadiga <b>A</b>	Tempo Padrão <b>ST (s)</b>
<b>Tarefas</b>	<b>1</b>	1	3,995	0,11	4,43
	<b>2</b>	1	56,367	0,11	62,57
	<b>3</b>	1	17,726	0,11	19,68
	<b>4</b>	1	7,135	0,11	7,92
	<b>5</b>	1	43,032	0,11	47,77

É de salientar que as tarefas 7,8 e 9 são desempenhadas por um operário com desempenho acima da média, ao qual foi atribuído um  $RF = 1,05$ ; já a tarefa 47 é assegurada por um colaborador com desempenho abaixo da média , pelo que lhe foi atribuído um  $RF = 0,8$ . As restantes tarefas são asseguradas por operários com desempenho considerado normal, logo  $RF=1$ .

Com base na informação reunida foi elaborada a construção do diagrama de precedências, que representa a sequência das tarefas a desempenhar para que uma unidade seja concluída, tendo em conta as relações de precedências e restrições. O diagrama é uma ferramenta que permite esquematizar as tarefas e os requisitos de precedências entre as tarefas e está representado na figura seguinte.



**Figura 27 – Diagrama de Precedências**

### 3.3. Balanceamento da Linha de Montagem

Alguns dos métodos referidos no Capítulo 2 e a recolha dos dados apresentada no ponto 3.2 são aplicados no desenvolvimento deste trabalho.

Deste modo, sem recorrer a *Software* e assumindo que as 53 tarefas fazem parte de uma linha de montagem única, foi então construída de forma manual a tabela da alocação das tarefas do Cenário Original (3.3.1) e depois, de igual forma, a do Cenário Alternativo (3.3.2), onde cada tabela apresenta os tempos de execução de cada tarefa alocada, postos e tempos inactivos. São também efectuados os cálculos para determinar o tempo de ciclo, a percentagem do tempo inactivo, o número teórico mínimo das estações de trabalho, a procura, a eficiência da linha e o equilíbrio das cargas destes dois cenários. Posteriormente e recorrendo a SAD, mais precisamente aos *Softwares* POM® e SAPLIMP, foi, primeiramente, adoptada a linha de pensamento anterior (3.3.3) ao considerar-se uma linha única e depois admitiu-se que as 53 tarefas são desempenhadas em quatro linhas de montagem: Linha de Montagem Principal, Linha de Montagem de Guiadores, Linha de Montagem de Rodas e Linha de Montagem de Assentos (3.3.4).

Sendo assim, o presente caso de aplicação diz respeito ao balanceamento da Linha de Montagem das bicicletas implementada na *Sportis Indústria*, e visa apresentar soluções eficientes e com uma distribuição uniforme da carga de trabalho. De notar que, como a produção das bicicletas se destina exclusivamente a satisfazer as necessidades dos eventos “*Bike Tour*”, e considerando que estes são eventos esporádicos (fortemente dependentes do apoio dos patrocinadores), a procura

é extremamente instável, o que exige grande flexibilidade da linha de montagem e dos colaboradores.

Basicamente, no ponto seguinte, será descrito o sistema original relativamente à sua capacidade e eficiência, para posterior análise e conclusões.

### **3.3.1. Apresentação do Cenário Original**

A presente análise do cenário original será realizada sem recorrer a *Software*, apenas efectuando alguns cálculos relativos ao equilíbrio das cargas, tempo de ciclo, percentagem de tempo inactivo, eficiência da linha e número teórico mínimo de postos necessários.

Sendo assim, a linha de montagem de bicicletas que vai servir de base para o desenvolvimento deste trabalho tem actualmente 25 estações de trabalho, a sua capacidade considerando os 480 minutos (8 horas) ronda presentemente as 320 unidades e as tarefas alocadas a cada estação são asseguradas apenas por um operário, o que perfaz um total de 25 funcionários a executarem tarefas na linha de montagem. São utilizadas três máquinas, uma para aplicar a caixa da direcção (PT 3, ver figura 15), outra para aplicar a borboleta na forqueta (PT 4, ver figura 17) e outra para agrupar o pneu e câmara-de-ar ao aro da roda da frente (PT 17, figura 22) e ao aro da roda de trás (PT 17, ver figura 21). São também usadas ferramentas de pequena dimensão, chaves eléctricas e manuais de *humbraque*, fendas e estrela, chave de bocas, cravador/descravador de corrente, roquete, saca, pincel, X-acto, martelo e corta arame. A montagem dos componentes inclui o agrupamento das rodas, do guiador e do selim ao quadro e restantes componentes.

Em primeiro lugar recorre-se à fórmula (2) para efectuar o cálculo do tempo de ciclo C:

$$C = \frac{L}{P} = \frac{480 \text{ minutos por dia}}{320 \text{ unidades por dia}} = 1,5 \text{ minutos por ciclo}$$

Sendo assim, estando a linha a funcionar 480 minutos e sendo 320 as bicicletas concluídas, o tempo de ciclo ronda os 90 segundos.

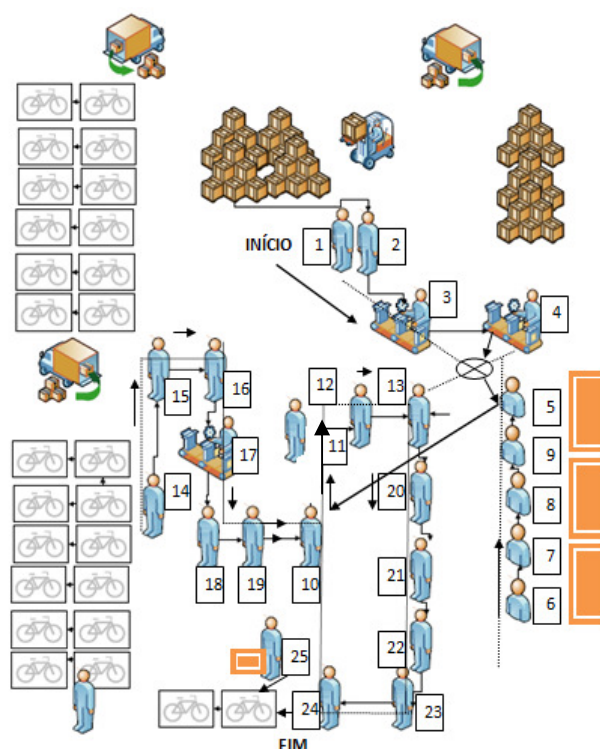
A alocação actual das tarefas às estações de trabalho, tempo de execução e tempo inactivo, estão representadas na tabela 5 para apenas 3 estações de trabalho (no Anexo VI pode ser consultada a alocação das 53 tarefas). A coluna da “Tarefa Alocada” diz respeito às tarefas que fazem parte de

cada estação na situação actual (consultar o Anexo VI) e na figura 28 encontra-se a representação gráfica da disposição actual das estações, para facilitar a interpretação da situação em análise.

**Tabela 5** – Estrutura da tabela do ANEXO VI \_ Cenário Original

Estação de Trabalho	Tempo Restante (s)	Tarefa Alocada	Tempo Inactivo (s)
1	90,00	1 (4,43)	8,13
	85,57	27 (6,71)	
	78,86	51 (8,16)	
	70,70	2(62,57)	
	8,13	-	
2	90,00	3 (19,68)	70,32
	70,32	-	
3	90,00	4 (7,92)	28,46
	82,08	5(47,77)	
	34,31	6 (5,85)	
	28,46	-	

Cada estação é representada por um algarismo e respectiva quantidade de operários que asseguram a execução da(s) tarefa(s). A montagem do produto é segundo a orientação das setas. O empilhador circula para abastecer os PT e para realizar a descarga/carga dos componentes. Os camiões estão localizados nas zonas de descarregamentos/carregamentos. As caixas castanhas são as caixas dos componentes e os rectângulos a laranja as mesas de trabalho.



**Figura 28** – Desenho da linha de montagem actual

Sabendo quais as tarefas de cada estação e respectivos tempos de execução e que o tempo de ciclo é de 90 segundos, determinou-se então o tempo inactivo de cada estação e no final fez-se o somatório dos valores da coluna do “Tempo Inactivo”.

Como se pode verificar no Anexo VI, na situação actualmente implementada o tempo inactivo por ciclo ronda os 855,86s, ou seja, 14,26 minutos. Neste sentido foi calculada a percentagem do tempo inactivo, que é o quociente entre o tempo inactivo por ciclo e o número actual de postos de trabalho a multiplicar pelo tempo de ciclo, usando a fórmula (4):

$$\begin{aligned} \% \text{ tempo inactivo} &= \frac{\text{Tempo inactivo por ciclo}}{N_{\text{actual}} \times C} \times 100 = \\ &= \frac{14,26}{25 \times 1,5} \times 100 = \frac{14,26}{37,50} \times 100 = 38,03\% \end{aligned}$$

$$N_{\text{actual}} = \text{Número actual de postos} = 25 \text{ postos}$$

É importante referir a eficiência actual da linha de montagem para posteriores comparações, sendo esta eficiência o resultado da diferença (ver fórmula 6) entre os 100% e a percentagem de tempo inactivo, que foi calculada anteriormente e que ronda os 38,03%.

$$\text{Eficiência da linha} = 100 - (\% \text{ de tempo inactivo}) = 100 - 38,03 = 61,97\%$$

Adicionalmente considerou-se o equilíbrio das cargas entre os postos.

$$E = \frac{N}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{S_i}{\sum S_i} - \frac{1}{N} \right)^2 = 1,2 \times 10^{-2}$$

Resumindo, actualmente a linha, a funcionar 480 minutos, tem um tempo de ciclo de 1,5 minutos, tendo cada estação apenas um operário que deve executar a(s) tarefa(s) alocada(s) em 90 s. Os operários estão em média 38,03% do seu tempo inactivos e a linha tem a capacidade de produzir 320 unidades, com uma eficiência que ronda os 61,97% e com 25 estações de trabalho, sendo o número mínimo de postos para desempenhar as 53 tarefas de aproximadamente 16, como se pode verificar no cálculo seguinte.

$$N_{min} = \frac{\sum t}{C} = \frac{23,73 \text{ minutos por unidade}}{1,5 \text{ minutos por ciclo por posto}} = 15,82 \text{ postos} \approx 16 \text{ postos}$$

Tendo em conta os valores actuais e a afectação das tarefas às estações, verifica-se que a solução pode ser melhorada, sendo necessário redesenhar a estrutura actual afectando as tarefas aos postos de trabalho, tentando minimizar o tempo inactivo e ajustando a configuração da Linha de Montagem à nova alocação de tarefas, com base na procura (P) e garantindo que a carga de trabalho está distribuída o mais uniformemente possível, que os PT estão a responder em sintonia às necessidades de montagem, evitando falhas no abastecimento ou causando *stocks* excessivos. Neste sentido, admitindo que a organização necessita de produzir cerca de 400 unidades em 8 horas de trabalho e que vai manter a mesma estrutura organizativa, para responder a esta procura terá de funcionar cerca de 10 horas, ou seja, 600 minutos, estando a Linha de Montagem inactiva cerca de 14,26 minutos em cada ciclo.

$$C = \frac{L}{P} \Leftrightarrow \frac{L}{400 \text{ unidades por dia}} = 1,5 \Leftrightarrow L = 600 \text{ minutos}$$

Para tentar melhorar a solução do problema de balanceamento da Linha de Montagem, serão analisadas possíveis soluções distintas, como já foi referido anteriormente. Sendo assim, no ponto seguinte irá ser sugerido um cenário sem recorrer a *Software*, denominado ‘Cenário Alternativo Sem Recurso a SAD’, com alterações relativas à alocação de tarefas de modo a atingir os objectivos propostos pela organização e admitindo que é necessário produzir diariamente 400 unidades em 480 minutos.

### 3.3.2. Cenário Alternativo Sem Recurso a SAD

Considerando que as 53 tarefas fazem parte de uma Linha de Montagem única, sem recorrer ao auxílio de *Software*, será sugerido um possível cenário alternativo, admitindo que a procura é de 400 unidades em 8 horas de trabalho. A alocação das tarefas aos PT e a consequente disposição das estações de trabalho irão sofrer alterações relativamente ao Cenário Original, tendo sido este cenário alternativo construído com base no conhecimento do processo. As três máquinas utilizadas no Cenário Original e as ferramentas de pequena dimensão serão as mesmas. Neste seguimento, recorreu-se à fórmula (2) para determinar o tempo de ciclo, de modo a executar a montagem das 400 bicicletas em 480 minutos de trabalho.

$$C = \frac{L}{P} = \frac{480 \text{ minutos por dia}}{400 \text{ unidades por dia}} = 1,2 \text{ minutos por ciclo}$$

Após o cálculo de  $C$  verifica-se que para atingir as 400 unidades em 480 minutos, em cada posto a execução das tarefas não pode ultrapassar 1,2 minutos, ou seja, 72 segundos por cada ciclo, sendo o número mínimo teórico de postos de trabalho necessárias, 20 postos, como se pode constatar no cálculo seguinte.

$$N_{min} = \frac{\sum t}{C} = \frac{23,73 \text{ minutos por unidade}}{1,2 \text{ minutos por ciclo por posto}} = 19,77 \text{ posto} \approx 20 \text{ posto}$$

Com o intuito de distribuir a carga de trabalho das 53 tarefas, o mais uniformemente possível, respeitando em cada posto de trabalho precedências e restrições, procedeu-se à construção da tabela (Anexo VII) da alocação das tarefas às estações de trabalho de modo a que o tempo de execução em cada estação não exceda os 72 segundos do tempo de ciclo, para que sejam atingidas as 400 unidades no tempo estipulado.



**Tabela 6** – Estrutura da tabela do Anexo VII\_ Cenário Alternativo Sem Recurso a SAD

Estação de Trabalho	Tempo Restante (s)	Tarefa Alocada	Tempo Inativo (s)
1	72,00	1 (4,43)	14,79
	67,57	27 (6,71)	
	60,86	51 (8,16)	
	52,70	52 (18,23)	
	34,47	3 (19,68)	
	14,79	-	
2	72,00	2(62,57)	9,43
	9,43	-	
3	72,00	4 (7,92)	2.10
	64,08	5(47,77)	
	16,31	22(3,63)	
	12,68	23(10,58)	
	2.10	-	

A tabela reúne as informações relativas à alocação das tarefas do cenário alternativo sem recorrer a SAD e foi construída como a tabela de alocação das tarefas do cenário original (3.3.1): tem as estações de trabalho, o tempo disponível, a respectiva tarefa alocada e o tempo inativo. No entanto, a alocação das tarefas respeita o novo tempo de ciclo o que vai alterar a alocação geral das tarefas a cada estação. As estações são identificadas por Algarismos em todos os cenários mas a(s) tarefa(s) alocada(s) a cada PT geralmente diferem. As tarefas estão ordenadas tendo em conta o tempo de montagem acumulado, associado à tarefa em si e àquelas que a sucedem, de maneira a respeitar os 72 segundos. Para comparar o Cenário Original com este cenário, é necessário verificar a alocação da(s) tarefa(s) na coluna “Tarefa Alocada”, para deste modo compreender o que se mantém e o que sofreu alterações. Em simultâneo é necessário comparar as colunas do “Tempo Inativo”, para comparar tempos ociosos. Importa também contabilizar a percentagem de tempo inativo, para fazer comparações:

$$\% \text{ tempo inativo} = \frac{\text{tempo inativo por ciclo}}{N_{\text{actual}} \times C} \times 100 = \frac{3,83}{23 \times 1,2} \times 100 = 13,88\%$$

$$N_{\text{actual}} = \text{número actual de postos} = 23 \text{ postos}$$

Tendo em conta as alterações representadas na tabela (Anexo VII) a eficiência da linha é:

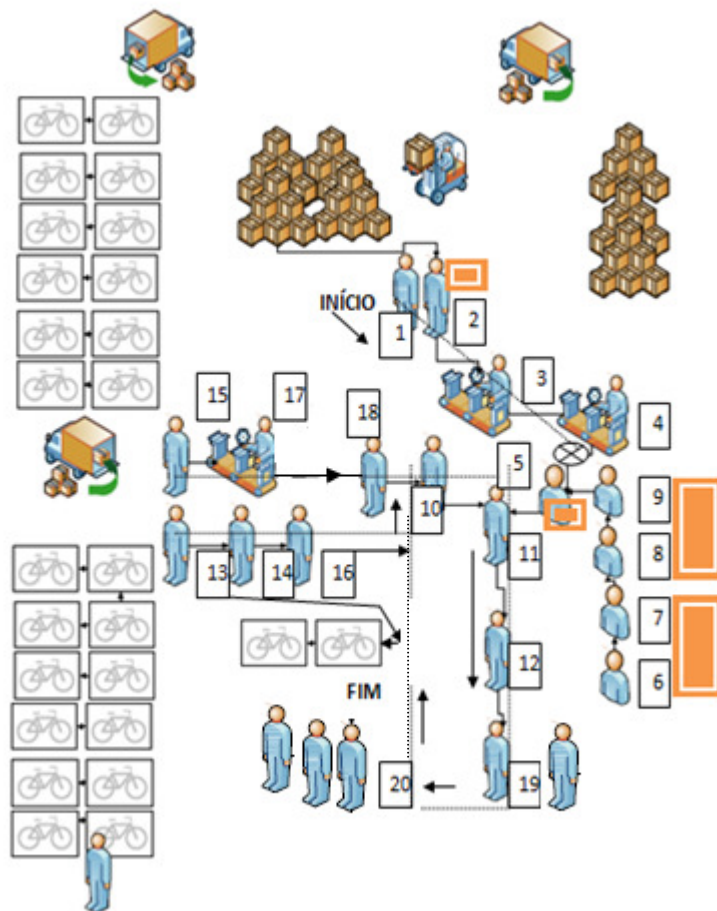
$$\text{Eficiência da linha em análise} = 100 - 13,88 = 86,12\%$$

Adicionalmente considerou-se o equilíbrio das cargas entre os postos.

$$E = \frac{N}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{S_i}{\sum S_i} - \frac{1}{N} \right)^2 = 1,8 \times 10^{-2}$$

Assim sendo, com as alterações sugeridas, a percentagem de tempo inactivo da linha é de 13,88% e tem a capacidade de produzir as 400 bicicletas em 480 minutos, com uma eficiência que ronda os 86,12% e o equilíbrio das cargas é cerca de  $1,8 \times 10^{-2}$ .

Para facilitar a interpretação das alterações sugeridas na tabela (Anexo VII), foi feita a representação gráfica da configuração da linha de montagem sugerida (ver figura 29) demonstrada na figura seguinte.



**Figura 29** – Configuração das estações no Cenário Alternativo Sem Recurso a SAD

Em suma, o cenário sugerido usa as mesmas ferramentas e equipamentos de pequena dimensão, a máquina de aplicar a caixa de direcção (figura 15), máquina de aplicar a borboleta à forqueta (figura 12) e a máquina de encaixar o pneu no aro (figuras 21 e 22). Dispõe de 20 estações onde trabalham 23 funcionários, sendo que o número mínimo de PT (ou seja, funcionários) para desempenhar as 53 tarefas é 20. A linha funciona 480 minutos e tem um tempo de ciclo de 1,2 minutos ( $C=72s$ ) e cada estação tem um operário, excepto a estação 19 (duas pessoas) e a estação 20 (três pessoas).

Nas estações 19 e 20 optou-se por colocar mais operários a desempenhar exactamente as mesmas tarefas, uma vez que o tempo de ciclo ( $C=72s$ ) é inferior ao tempo de execução da tarefa mais longa, a tarefa 43 com 83,34s, e a tarefa 47 que ronda os 74,88. Desta forma são asseguradas as tarefas com duração superior ao tempo de ciclo e por outro lado, são alocadas outras tarefas a estes postos, de forma a minimizar tempos inactivos.

No ponto seguinte é realizada a análise dos resultados obtidos com recurso aos dois SAD utilizados: POM<sup>®</sup> e SAPLIMP.

### **3.3.3. Cenários Alternativos Recorrendo a SAD Admitindo Linha Única**

Neste ponto são analisados os resultados gerados pelos SAD POM<sup>®</sup> e SAPLIMP, considerando que as 53 tarefas necessárias para completar uma bicicleta fazem parte de uma linha de montagem única que engloba a montagem de quatro grupos de conjuntos, entre os quais: guiador, assento, rodas e quadro com os restantes componentes necessários para completar uma unidade de produto acabado, a bicicleta.

Considerando os dados gerados pelo POM<sup>®</sup> (3.3.3.1.), será analisada a alocação das tarefas através de cinco regras heurísticas: Maior Tempo de Processamento (MTP), Maior Número de Tarefas Sucessoras (MNTS), Maior Peso Posicional (MPP), Menor Tempo de Processamento ( $m\_TP$ ) e Menor Número de Tarefas Sucessoras ( $m\_NTS$ ).

Posteriormente são analisados os resultados gerados pelo programa SAPLIMP (3.3.3.2.), considerando três meta-heurísticas: *Simulated Annealing* (SA), Algoritmos Genéticos (GA) e Colónias de Formigas (ANT).

Após a análise dos resultados POM<sup>®</sup> e SAPLIMP é feita a comparação entre os resultados gerados por cada um dos *Softwares* (3.3.3.3.) e são enunciadas as vantagens, desvantagens e limitações de cada um.

### 3.3.3.1 Resultados Gerados Pelo POM®

Nesta etapa os dados foram introduzidos no *Software POM®* e este gerou os resultados relativos ao número teórico mínimo de postos de trabalho, tempo de ciclo, % de tempo inactivo por ciclo, soma total dos tempos de todas as tarefas, tempo disponível e eficiência da linha. É possível consultar na tabela respeitante a cada regra heurística, a alocação das tarefas a cada estação e respectivos tempos de execução, tempo disponível e tarefas disponíveis, assim como o respectivo gráfico da carga de trabalho de cada estação. Assim sendo, foram analisadas as cinco regras heurísticas (MTP), (MNTS), (MPP), (m\_TP) e (m\_NTS) de forma a balancear a linha actual cumprindo precedências e restrições e respeitando o tempo de ciclo  $C=83,34s$ , que corresponde à tarefa mais longa de entre as 53 tarefas enumeradas na tabela que se encontra no Anexo III. Este tempo de ciclo foi assim determinado pois este *software* não considera a utilização de PT paralelos não suportando, deste modo, tempos de ciclo inferiores à duração da tarefa mais longa. A soma dos tempos de todas as tarefas é de aproximadamente 23,73 minutos, sendo o número mínimo teórico de estações 18 para as 5 regras heurísticas.

Sabendo  $C$ , foi então calculada a quantidade de bicicletas ( $P$ ) produzidas em 480 minutos.

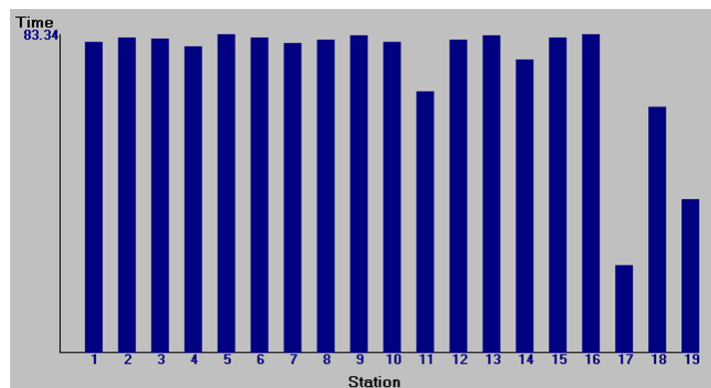
$$C = \frac{L}{P} \Leftrightarrow \frac{480 \text{ minutos}}{x \text{ unidades}} = 1,389 \Leftrightarrow P = 345 \text{ bicicletas}$$

Sendo assim, são produzidas cerca de 345 bicicletas em 8 horas de trabalho em todos os cenários, usando as mesmas máquinas, mesmos equipamentos e ferramentas de pequena dimensão. Admitindo que a Linha de Montagem terá de produzir 400 unidades mantendo  $C=83,34s$ , seriam necessários de cerca 560 minutos.

$$C = \frac{L}{P} \Leftrightarrow \frac{L}{400 \text{ unidades por dia}} = 1,4 \Leftrightarrow L = 9,33 \text{ horas}$$

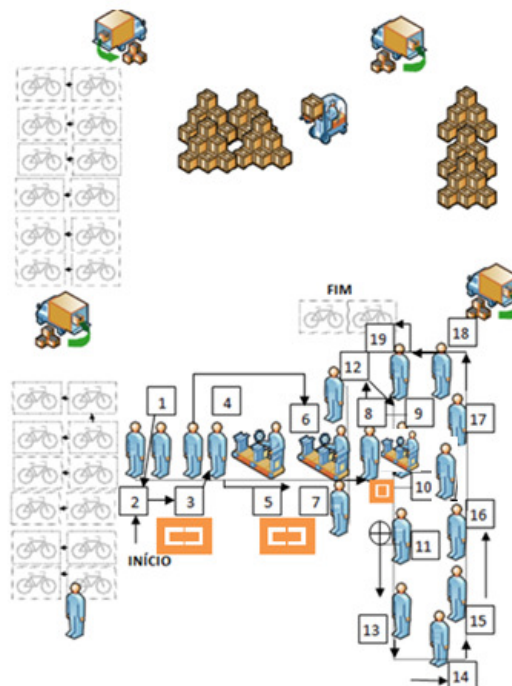
As páginas seguintes são dedicadas à análise da alocação das tarefas segundo as regras heurísticas já referidas, tendo sido, adicionalmente, desenhada, para cada regra, a configuração da linha.

Tendo em conta os dados do *Software*, segundo a regra heurística do **MTP** a linha actual necessita de 19 estações de trabalho, com uma carga de trabalho com maior tempo inactivo nas estações 17 e 19, como se pode verificar pelo gráfico 1, sendo o tempo inactivo total 159,22 segundos. O tempo disponível na linha ronda os 1583,46 segundos e a percentagem da eficiência da linha é de 89,94%.



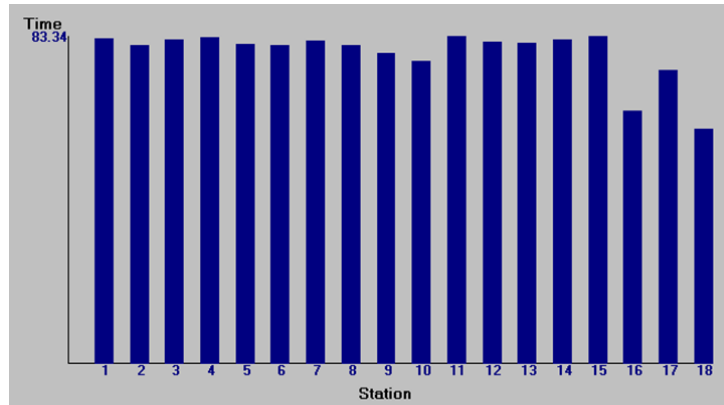
**Gráfico 1** – Maior Tempo de Processamento <sup>[13]</sup>

Cada posto tem um operário. No Anexo VIII é possível consultar a tabela da alocação das tarefas e na figura 30 visualizar a configuração da linha.



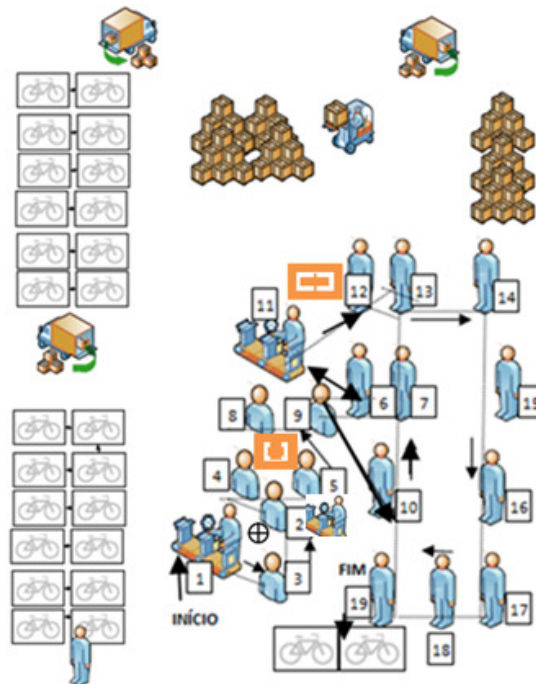
**Figura 30** – Configuração das estações de MTP

Relativamente à regra heurística do **MNTS** a linha necessita de 18 estações de trabalho, com uma carga de trabalho com maior tempo inactivo nas estações 16 e 18, sendo o tempo inactivo total 75,88 segundos (ver gráfico 2). O tempo disponível na linha é 1500,12 segundos e a eficiência é de 94,94%.



**Gráfico 2 – Maior Número de Tarefas Sucessoras** <sup>[13]</sup>

A figura 31 representa a disposição dos postos de trabalho, sendo cada posto assegurado por um operário e no Anexo VIII encontra-se a tabela da alocação das tarefas.



**Figura 31 – Configuração das estações de MNTS**

Em relação à regra heurística do **MPP** a linha actual necessita de 18 estações de trabalho, com uma carga de trabalho com maior tempo inactivo na estação 18, sendo o tempo inactivo total 75,98 segundos (ver gráfico 3). Na linha está disponível um tempo que ronda os 1500,12 segundos, sendo a eficiência de 94,94% e a carga de trabalho está distribuída de forma equilibrada.

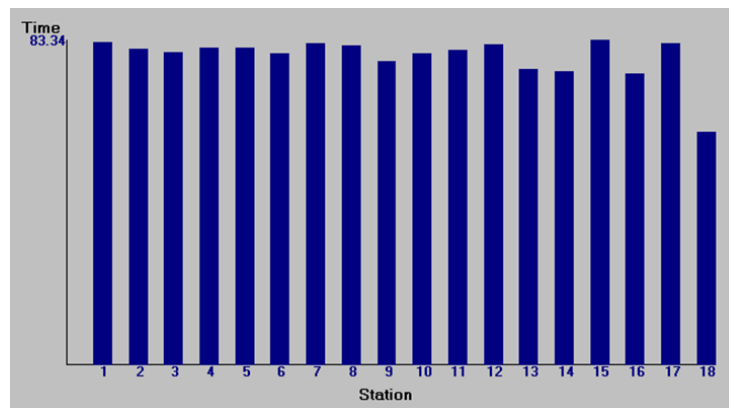


Gráfico 3 – Maior Peso Posicional <sup>[13]</sup>

A figura 32 representa graficamente a disposição dos postos de trabalho, sendo cada posto assegurado por um operário e no Anexo VIII é possível consultar a tabela da alocação das tarefas.

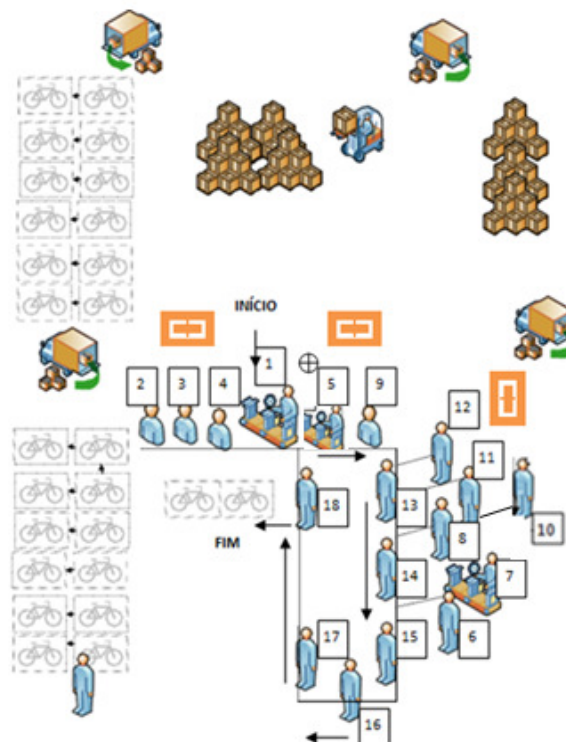
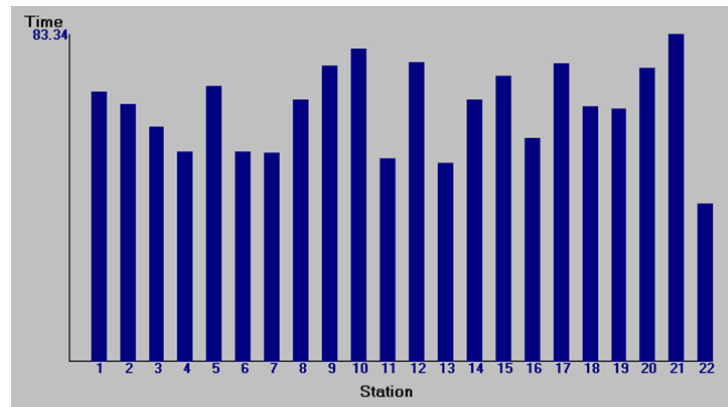


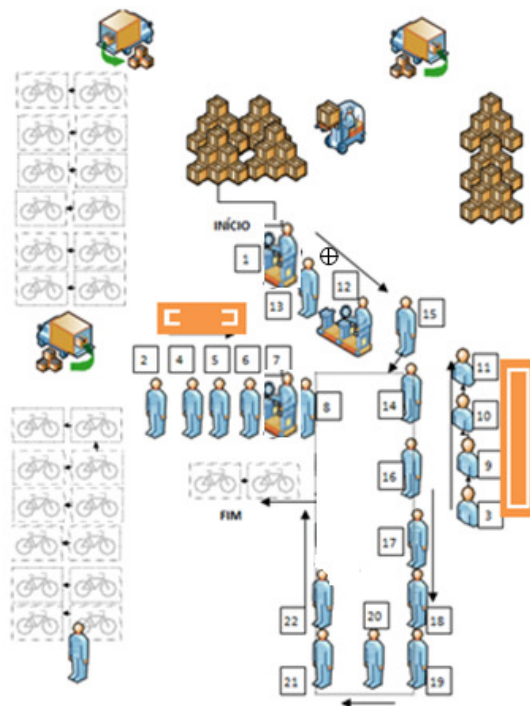
Figura 32 – Configuração das estações de MPP

Segundo a regra heurística do **m\_TP** a linha actual necessita de 22 estações de trabalho, com uma carga de trabalho com maior tempo inactivo nas estações 4,5,6, 11, 13, 16 e 22, sendo o tempo inactivo 409,24 segundos (ver gráfico 4). O tempo disponível na linha é 1833,48s e a eficiência é de 77,68%.



**Gráfico 4** – Menor Tempo de Processamento <sup>[13]</sup>

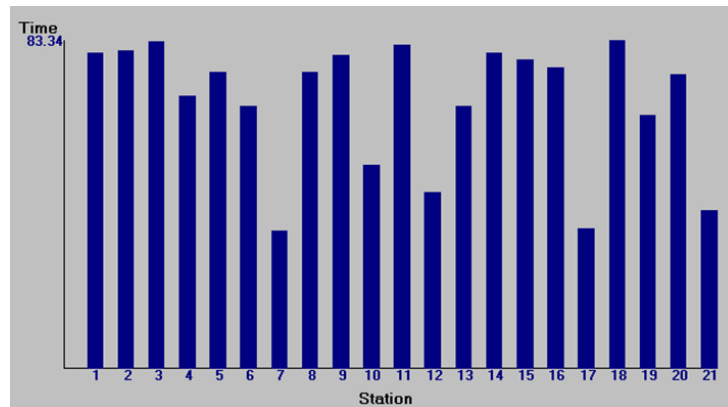
A figura 33 representa a configuração dos postos de trabalho, sendo cada posto assegurado por um operário e no ANEXO VIII está a tabela da alocação das tarefas do **m\_TP**.



**Figura 33** – Configuração das estações de **m\_TP**



Finalmente, a regra heurística do **m\_NTS** para a linha actual gera os seguintes resultados: 21 estações de trabalho, com uma carga de trabalho heterogênea relativamente ao tempo inactivo, sendo mais acentuado nas estações 7,10,12,17 e 21, sendo o tempo inactivo 326 segundos (ver gráfico 5). A eficiência da linha, segundo esta regra, é de 81,38%.



**Gráfico 5** – Menor Número de Tarefas Sucessoras <sup>[13]</sup>

As estações têm apenas um operário, no Anexo VIII encontra-se a tabela da alocação das tarefas e na figura 34 o esquema da linha.



**Figura 34** – Configuração das estações de **m\_NTS**

Sendo assim, nos cinco cenários anteriores, para um  $C=83,34s$ , a Linha de Montagem tem a capacidade de produzir 342 bicicletas em 480 minutos. Para cada regra heurística difere a alocação da(s) tarefa(s) e consequentemente, a disposição das estações, tempos inactivos, número de estações e operários e a eficiência da linha de montagem.

Admitindo que o objectivo é completar 400 unidades obedecendo a esta estrutura organizativa e a um  $C=83,34s$ , serão necessários 560 minutos. Caso se pretenda completar as 400 unidades em 480 minutos, é necessário reduzir o tempo de ciclo e duplicar PT nas tarefas que ultrapassam o  $C$  necessário para cumprir os objectivos estabelecidos. Como o *Software* POM<sup>®</sup> não considera postos paralelos, não permite obedecer a ciclos inferiores à duração da tarefa mais longa. De seguida, e aplicando alguns dos métodos referidos no capítulo 2, analisa-se a configuração da linha de montagem, recorrendo ao *Software* SAPLIMP, que permite considerar tempos de ciclo inferiores à tarefa mais longa e considera PT paralelos. No final é feita a comparação dos cenários analisados recorrendo aos SAD.

### 3.3.3.2 Resultados Gerados Pelo SAPLIMP

O *software* considera a utilização de PT paralelos, comportando desta forma, a alocação de tarefas às estações, respeitando tempos de ciclo inferiores à duração da tarefa mais longa. Assim, a Linha de Montagem será analisada considerando as 53 tarefas da tabela do Anexo III e admitindo que a Linha de Montagem é única para executar todas as tarefas e que é necessário completar 400 unidades em 8 horas de trabalho, sendo o tempo de ciclo  $C=72s$ , um  $C$  inferior à duração da tarefa mais longa (83,34).

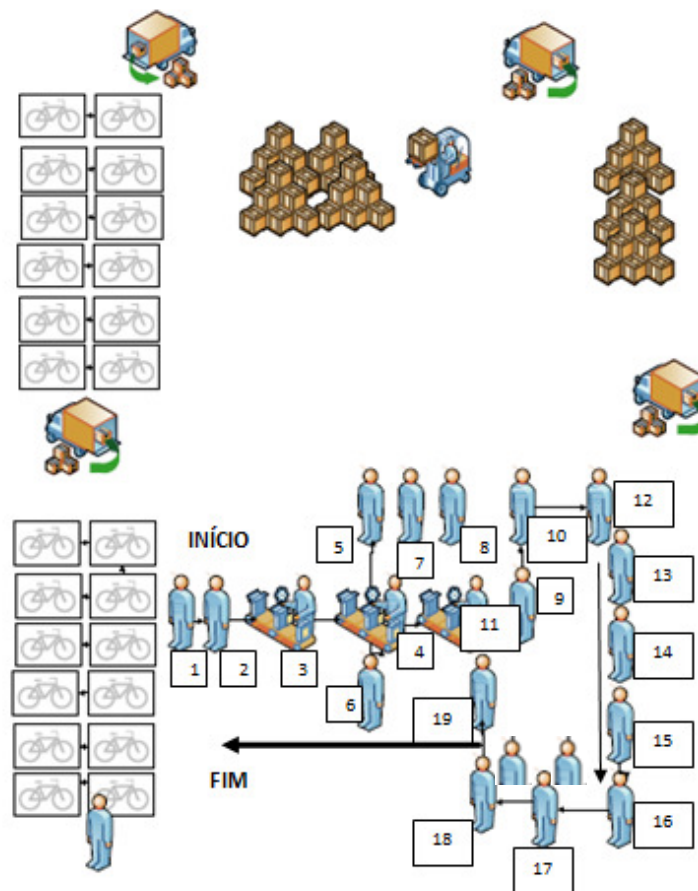
$$C = \frac{L}{P} = \frac{480 \text{ minutos}}{400 \text{ unidades}} = 1,2 \text{ minutos}$$

Após a introdução dos dados relativos às precedências e tempos de processamento, o programa devolve o diagrama de precedências representado na figura 27 e os resultados referentes às meta-heurísticas ANT, GA e SA (Anexo IX). Para cada meta-heurística é devolvido o número de estações e respectiva alocação das tarefas, tempo total em cada PT e número de pessoas que asseguram as tarefas em cada estação. Foram gerados, cinco cenários para cada situação e entre os quinze cenários obtidos foi eleito o que se julga estar mais adequado a uma futura implementação. Optou-se por escolher um entre os quinze dado que todos os cenários

apresentam a mesma eficiência (94%), 19 estações e 21 PT (há duas estações em que as tarefas são asseguradas por PT paralelos), sendo que para um tempo de ciclo de 1,2 minutos, o número mínimo de PT seria 20.

$$N_{min} = \frac{\sum t}{C} = \frac{23,73 \text{ minutos por unidade}}{1,2 \text{ minutos por ciclo por posto}} = 19,77 \text{ postos} \approx 20 \text{ postos}$$

A selecção do cenário eleito foi baseada no menor número de alterações da estrutura da linha que seriam necessárias no caso de uma futura implementação, tendo em conta a actual configuração das estações. Uma vez que a alocação das tarefas difere de cenário para cenário e dado que a eficiência é a mesma, opta-se por aquele que necessita de menos alterações para que os custos de uma futura implementação sejam menores (ver figura 35).



**Figura 35** – Configuração das estações do cenário eleito do SAPLIMP

Adicionalmente considerou-se o equilíbrio das cargas entre os postos.

$$E = \frac{N}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{S_i}{\sum S_i} - \frac{1}{N} \right)^2 = 1,8 \times 10^{-2}$$

No ponto seguinte serão comparados os dados gerados por cada um dos SAD, considerando que as 53 tarefas são executadas numa linha única.

### 3.3.3.3. Comparação dos Resultados

Recapitulando, no Cenário Original são produzidas 320 unidades em 480 minutos, com 25 estações de trabalho e 25 operários, respeitando C=90s e com uma eficiência de 61,97%.

Tendo em conta os dados gerados pelo *Software POM*<sup>®</sup> (3.3.3.1), com C=83,34s, apesar do tempo de ciclo ser inferior ao do Cenário Original, verificam-se melhorias ao nível da eficiência da linha de montagem para as cinco regras heurísticas. A capacidade de resposta aumenta 25 unidades, sendo possível produzir 345 bicicletas com um tempo de ciclo inferior.

A tabela seguinte reúne a informação do Cenário Original (C=90s) e das cinco regras heurísticas (C=83,34s), estando a linha a operar 480 minutos por dia.

**Tabela 7** – Cenário Actual vs Resultados POM<sup>®</sup>

	C.Original	MTP	MNTS	MPP	m_ TP	m_ NTS
<b>P</b>	320u	345u	345u	345u	345u	345u
<b>C</b>	90,00s	83,34s	83,34s	83,34s	83,34s	83,34s
<b>N<sub>actual</sub></b>	25u	19u	18u	18u	22u	21u
<b>Σt<sub>inactivo</sub></b>	855,86s	159,22s	75,88s	75,88s	409,24s	325,90s
<b>%Eficiência</b>	61,97%	89,94%	94,94%	94,94%	77,67%	81,38%

Como se pode verificar na tabela anterior, o tempo inactivo em cada PT diminuiu relativamente ao Cenário Original, e a eficiência aumenta nos cinco cenários gerados pelo programa, sendo o tempo de ciclo inferior ao do cenário implementado (C=83,34s < C=90s). O número de operários necessários também diminui em todas as situações em análise.

É de salientar que a montagem dos componentes no Cenário Original está dividida em 4 grupos: rodas, guiador, assento e corpo, sendo parte da linha automatizada (ver figura 13), não havendo

estações onde se realizam tarefas que são feitas na mesa de trabalho fixa e no tapete giratório. Os cenários **m\_TP** e **m\_NTS** são os cenários que mais se aproximam da realidade actual, uma vez que, os operários estão a executar as tarefas ou na mesa de trabalho ou no tapete giratório. Nos restantes cenários, a eficiência é superior, no entanto há tarefas a serem executadas na mesa de trabalho e no tapete giratório, o que requer eficiência, operários com formação, coordenação nos movimentos e a carga de trabalho distribuída uniformemente, para as funções serem desempenhadas sem atrasos e sem atropelamentos.

Para as regras heurísticas **MNTS** e **MPP** os resultados são iguais, no entanto a alocação das tarefas difere. Por exemplo, as tarefas 36 e 37 devem ser executadas pela mesma máquina, o que acontece apenas no cenário MNTS.

Finalmente em **MTP**, a tarefa 5 necessita de uma estrutura em ferro que é necessário adquirir, pois as tarefas 4 e 5 estão a ser executadas em estações próximas mas distintas e por operários diferentes, logo desta forma não é viável aproveitar a máquina que executa a tarefa 4 para executar a tarefa 5 (figura 15), como acontece nos restantes cenários.

Seria, portanto, ideal ter em conta as restrições referidas, relativamente às tarefas que devem ser executadas pelo mesmo operário ou pela mesma máquina, para que os resultados gerados pelo programa se aproximem ao máximo da realidade existente; no entanto o *Software* POM<sup>®</sup> tem algumas limitações, entre as quais a duplicação de postos de trabalho e a introdução de restrições de zona.

Assim sendo, para colmatar esta deficiência recorreu-se a outro Software, o SAPLIMP para analisar os resultados gerados comparativamente com os resultados do *Software* POM<sup>®</sup>. Como já foi referido anteriormente, foram analisados cinco cenários para as três meta-heurísticas ANT, GA e SA e eleito apenas um. Este programa gera PT paralelos e é possível analisar tempos de ciclo inferiores e superiores à duração da tarefa mais longa; no entanto foi apenas considerado  $C = 72s$  para os quinze cenários, com o intuito de balancear a linha de forma a alcançar 400 bicicletas em 480 minutos. Após a análise dos resultados gerados pelo Software SAPLIMP, verifica-se que estes são similares nas quinze situações, dado que apenas diferem na afectação das tarefas às estações. Deste modo, é possível completar 400 unidades em 480 minutos em todos os cenários analisados, com  $C=72s$ , eficiência de 94%, sendo necessários 21 PT e 19 estações. A tabela seguinte reúne a informação relativa ao Cenário Original e aos dados gerados pelos quinze cenários do SAPLIMP. Para verificar o tempo inactivo das soluções do SAPLIMP deve-se consultar o Anexo IX.

**Tabela 8 – Cenário Actual Vs Resultados SAPLIMP**

	C.Original	C. do SAPLIMP
<b>P</b>	320u	400u
<b>C</b>	90,00s	72,00s
<b>Nº estações</b>	25u	19u
<b>PT</b>	25u	21u
<b>%Eficiência</b>	61,97%	94%

No ponto seguinte serão analisados os dados gerados pelo SAPLIMP, considerando uma linha flexível em “U”.

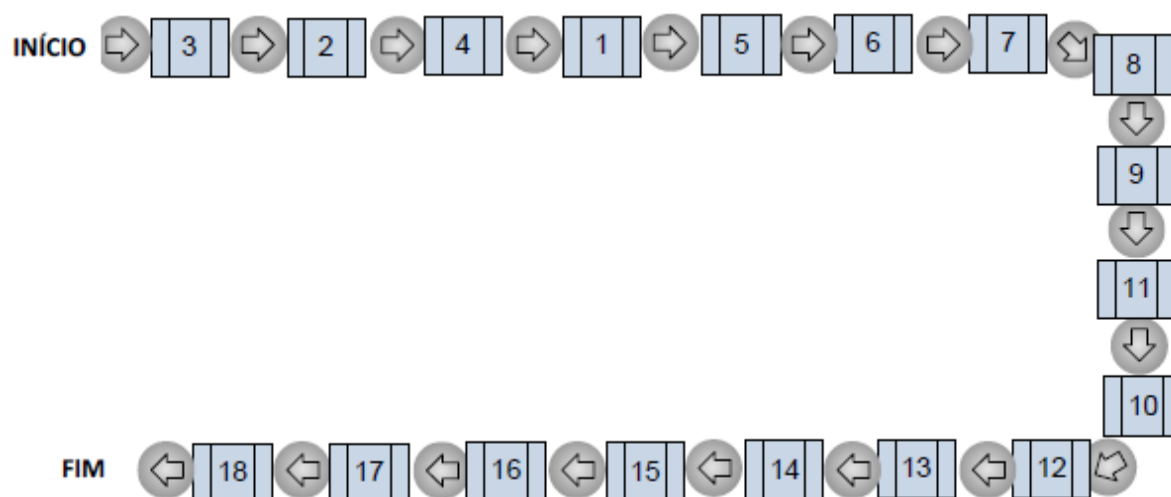
#### **3.3.3.4. Análise do Problema Admitindo a Linha em “U”**

Aplicou-se o algoritmo de Simaria *et al.* <sup>[7]</sup>, que tem por base a meta-heurística Colónia de Formigas, para estudar a possibilidade de adaptar a linha a uma configuração em “U”. De salientar que o procedimento não considera a possibilidade de definir PT paralelos e admite que o interior do “U” é uma área partilhada pelos colaboradores.

Neste contexto, tendo em conta que a procura não é constante, com o intuito de ajustar a capacidade da linha a potenciais necessidades inferiores às já analisadas anteriormente e considerando um período de trabalho de 8 horas (L= 480 minutos), foram testados, com recurso ao SAPLIMP, três cenários com a configuração em “U”, primeiro considerando uma produção de 200 unidades respeitando C=144s, seguindo-se 300 unidades com um C=96s e finalmente 345 unidades e C=83,48s, valor ligeiramente superior à duração da tarefa mais longa. Foram gerados cinco resultados para cada um destes cenários e no final foi eleito apenas um.

Assim, a Linha de Montagem será analisada considerando as 53 tarefas da tabela do Anexo III e considerando que a Linha de Montagem é única para executar todas as tarefas, considerando os três tempos de ciclo já referidos. De entre os cinco cenários gerados pelo programa, apenas o primeiro conjunto de dados considera que as tarefas 36 e 37 são desempenhadas no mesmo PT, pelo mesmo operário, para as três situações em análise: 200, 300 ou 345 unidades de procura. Como foi referido anteriormente, estas duas tarefas necessitam de uma máquina (figura 22) para serem realizadas ou terão de ser realizadas manualmente. Como neste cenário as tarefas estão alocadas à mesma estação, optou-se por escolher este conjunto de resultados, para analisar os três cenários com potencial interesse para uma futura implementação. A figura seguinte

representa a configuração das estações físicas e no Anexo XI podem ser consultadas as tarefas afectadas a cada estação física (no total 18) e a cada PT, para cada um dos três cenários analisados.



**Figura 36 – Configuração dos postos físicos da Linha em “U”**

Esta análise para procura inferiores surge com o intuito de testar a possibilidade de responder às necessidades de eventos de pequena dimensão. Neste contexto, nos resultados gerados para 200 unidades a eficiência da linha ronda os 90%, necessita de 480 minutos, 11 PT e um C=144s. Considerando a procura de 300 unidades em 8 horas de trabalho, a eficiência da linha é cerca de 93%, são necessários 16PT e C=96s. Finalmente, admitindo uma procura de 345 unidades, a eficiência é de 95%, são necessários 18PT e C=83,48s.

No Anexo XI podem ser consultadas as tabelas de alocação das tarefas aos PT que cada operário terá de desempenhar no interior do “U” representado na figura 36, consoante a realidade de procura em questão.

Para que esta configuração seja implementada com sucesso a disposição dos PT terá de ser completamente alterada relativamente à situação actual o que implica custos de implementação. Por outro lado, tendo em conta que as estações de trabalho, que se considera serem os locais físicos da linha aos quais são afectadas as tarefas, não sofre alterações quando há mudanças na procura, e só os PT, que correspondem aos trabalhadores que irão estar a actuar na linha, é que são alterados, torna-se mais simples adaptar a linha de acordo com a realidade em causa (diferentes níveis de procura).

Sendo assim, poderia ser interessante adoptar esta solução e ajustar o número de trabalhadores de acordo com a procura num cenário em que o pessoal se encontre com a formação adequada e se pretenda reduzir o número de operários e ou a área ocupada pela Linha de Montagem, podendo desta forma responder a capacidades de procura inferiores.

Comparando a Linha em “U” do cenário das 345 unidades, com os resultados gerados para MNTS (Anexo VIII) admitindo linha única, são produzidas o mesmo número de bicicletas, mas com menos um operário. Comparando a Linha em “U”, do cenário das 200 unidades, mas duplicada, com cenário eleito ANT (Anexo IX) são produzidas as mesmas 400 unidades com 22 de operários em ambos os cenários.

As linhas em “U” são interessantes para diminuir recursos humanos e a área que a linha de montagem ocupa; no entanto são mais difíceis de desenhar, pois é necessário fazer a alocação dos PT às estações físicas de forma eficiente, para que a implementação tenha sucesso.

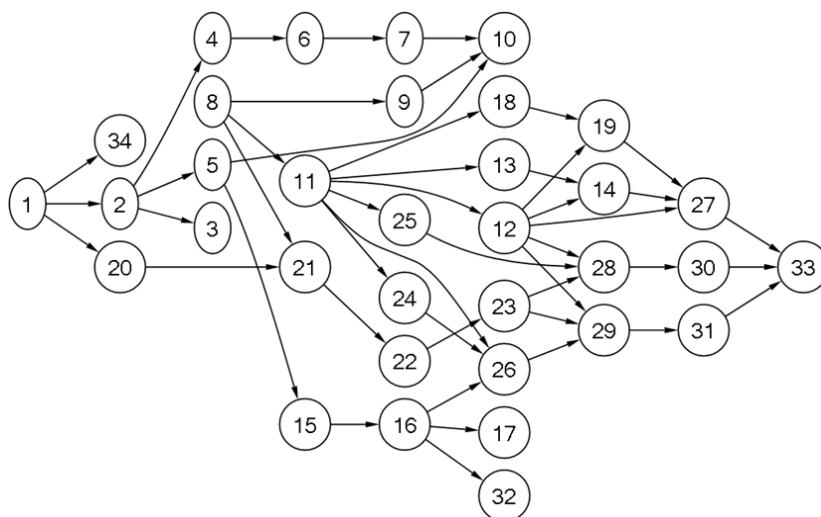
No ponto seguinte é feita a análise de cenários, recorrendo aos SAD referidos anteriormente, considerando que as 53 tarefas necessárias para completar uma bicicleta são executadas em quatro zonas distintas: guiador, rodas, assento e quadro (problema principal).

#### ***3.3.4 Análise do Problema Não Admitindo Linha Única***

Com o intuito de gerar soluções fáceis para uma futura implementação e verificar se os resultados gerados seriam razoáveis e mais fáceis de transferir para a realidade, admitiu-se a possibilidade de não considerar soluções em que o operário tenha de executar tarefas em ambientes distintos: tapete giratório e bancada. Assim, recorreu-se aos SAD considerando que as 53 tarefas do Anexo III são executadas por quatro Linhas de Montagem: rodas, quadro, guiador e assento. Os resultados gerados pelos dois SAD são analisados considerando uma nova tabela de precedências (consultar Anexo XII). Esta nova alocação dá origem a um diagrama de precedências para cada situação.

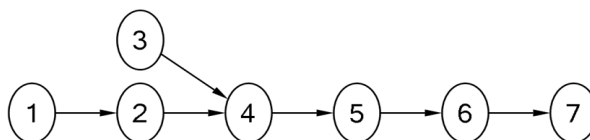
O Problema Principal diz respeito às 34 tarefas necessárias para completar o corpo da bicicleta, ou seja, quadro, pedais, forqueta, mudanças, corrente, caixa de direcção e centro pedaleiro e a sequência de execução está representada no diagrama da figura 37.





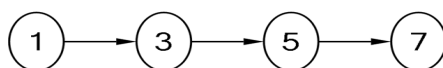
**Figura 37** – Diagrama de Precedências do Problema Principal

Paralelamente é necessário executar as sete tarefas que permitem montar o guiador (figura 38).

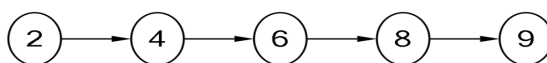


**Figura 38** – Diagrama de Precedências do Guiador

Por outro lado, é necessário assegurar a montagem das rodas da frente e de trás (figuras 39 e 40). Apesar de não ter sido feita a separação entre a montagem da roda da frente ou de trás, as precedências originam dois diagramas que se podem separar.



**Figura 39** – Diagrama de Precedências da Roda da Frente



**Figura 40** – Diagrama de Precedências da Roda Traseira

Finalmente o assento é considerado o problema da linha 4; no entanto estes dados não foram introduzidos nos SAD, uma vez que se trata apenas de três tarefas, em que apenas a tarefa 3 tem duas precedências, consultar Anexo XII (Assento).

#### **3.3.4.1 Resultados POM<sup>®</sup>**

Considerando as três linhas relativas aos diagramas de precedências em (3.3.4), foram analisadas as cinco regras heurísticas (MNTS, MPP, MTP, m\_NTS, m\_TP) respeitando  $C=83,34s$ , que corresponde à duração da tarefa mais longa, sendo o tempo de ciclo o mesmo para todas as linhas de forma a manter a coordenação entre estas, uma vez que as linhas 'guiador', 'rodas' e 'assento' abastecem a linha principal.

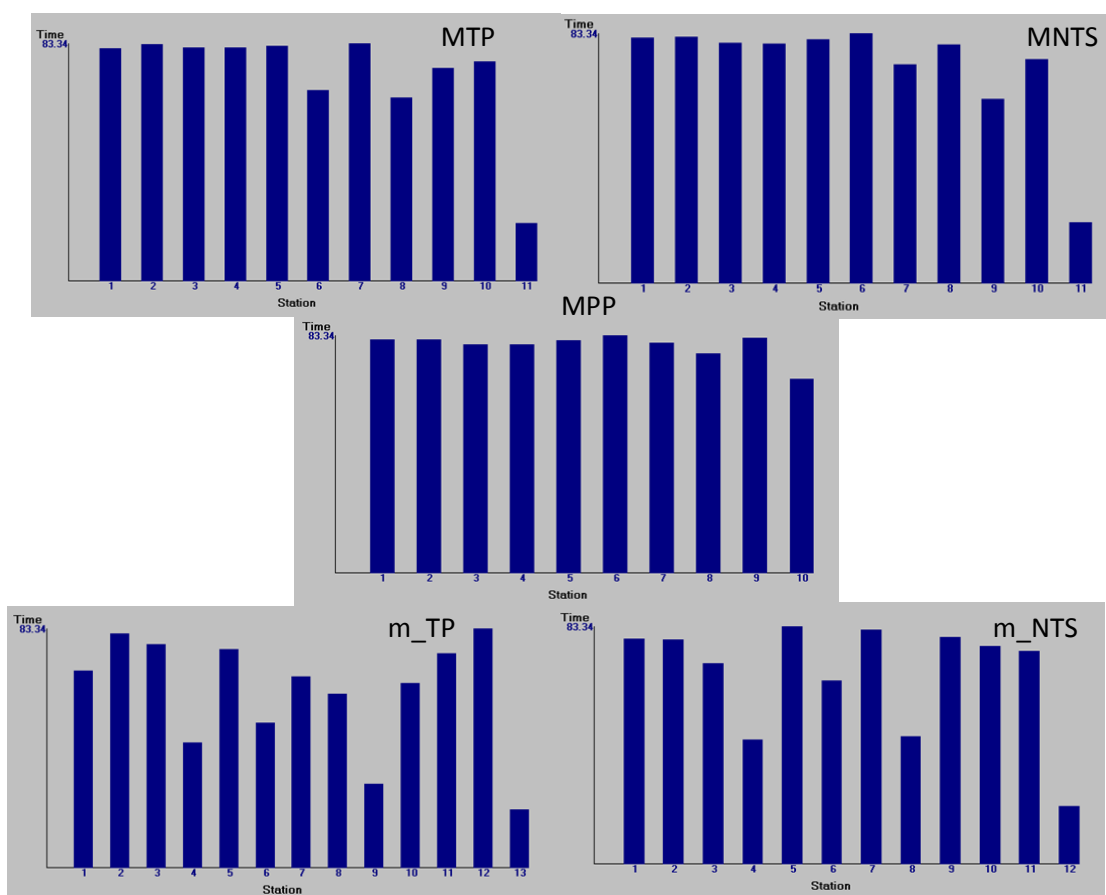
Tal como aconteceu anteriormente, considerar-se-á que o equipamento e as ferramentas de pequena dimensão se vão manter, relativamente ao Cenário Original, e que não há necessidade de considerar tempos de transporte, pois assume-se que os PT estão próximos entre si.

No Anexo XIII podem ser consultados os dados gerados pelo *Software* referentes à alocação das tarefas, estações, tempo de processamento e tarefas disponíveis.

Respeitando este tempo de ciclo a linha tem a capacidade de produzir 345 unidades em 480 minutos.

A informação relativa a cada regra heurística encontra-se representada primeiramente através dos gráficos e posteriormente, numa tabela, encontra-se a informação resumida.

Quanto ao **Problema Principal** (ver figura 41 e tabela 9), as tarefas são facilmente executadas respeitando a configuração da nova alocação das tarefas para as cinco regras, apesar da eficiência e do número de estações não se manter nos cinco cenários, sendo mais fácil implementar determinados cenários devido a questões de logística.



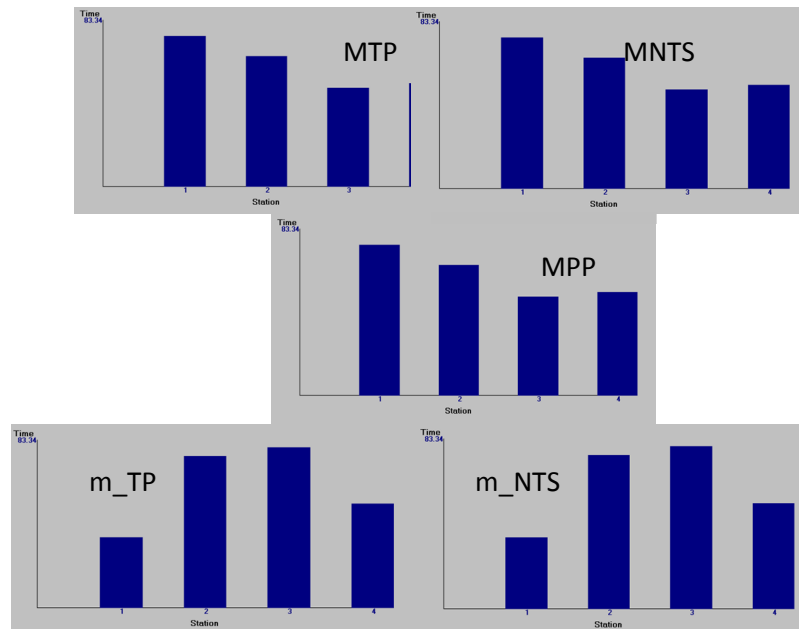
**Figura 41** – Gráficos POM<sup>®</sup> Problema Principal <sup>[13]</sup>

Os dados do problema principal encontram-se resumidos na tabela seguinte.

**Tabela 9** – Resultados POM<sup>®</sup> do Problema Principal

PROBLEMA PRINCIPAL	MTP	MNTS	MPP	m_TP	m_NTS
<b>P</b>	345u	345u	345u	345u	345u
<b>C</b>	83,34s	83,34s	83,34s	83,34s	83,34s
<b>N<sub>actual</sub></b>	11u	11u	10u	13u	12u
<b><math>\Sigma t_{inactive}</math></b>	118,68s	118,68s	35,34s	285,36s	202,02s
<b>%Eficiência</b>	87,05%	87,05%	95,76%	73,66%	79,80%

Posteriormente é feita a análise da afectação das sete tarefas necessárias para executar a montagem do guiador (ver figura 42 e tabela 10).



**Figura 42** – Gráficos POM® Guiador <sup>[13]</sup>

Os resultados gerados pelo SAD referentes ao guiador encontram-se na tabela seguinte.

**Tabela 10** – Resultados POM® do Guiador

GUIADOR	MTP	MNTS	MPP	m_TP	m_NTS
<b>P</b>	345u	345u	345u	345u	345u
<b>C</b>	83,34s	83,34s	83,34s	83,34s	83,34s
<b>N<sub>actual</sub></b>	4u	4u	4u	4u	4u
<b><math>\Sigma t_{inactive}</math></b>	91,93s	91,93s	91,93s	91,93s	91,93s
<b>%Eficiência</b>	91,93%	72,43%	91,93%	72,43%	72,43%

Passando para a análise da montagem das rodas, a eficiência e o número de estações altera-se consoante o cenário (ver figura 43 e tabela 11).

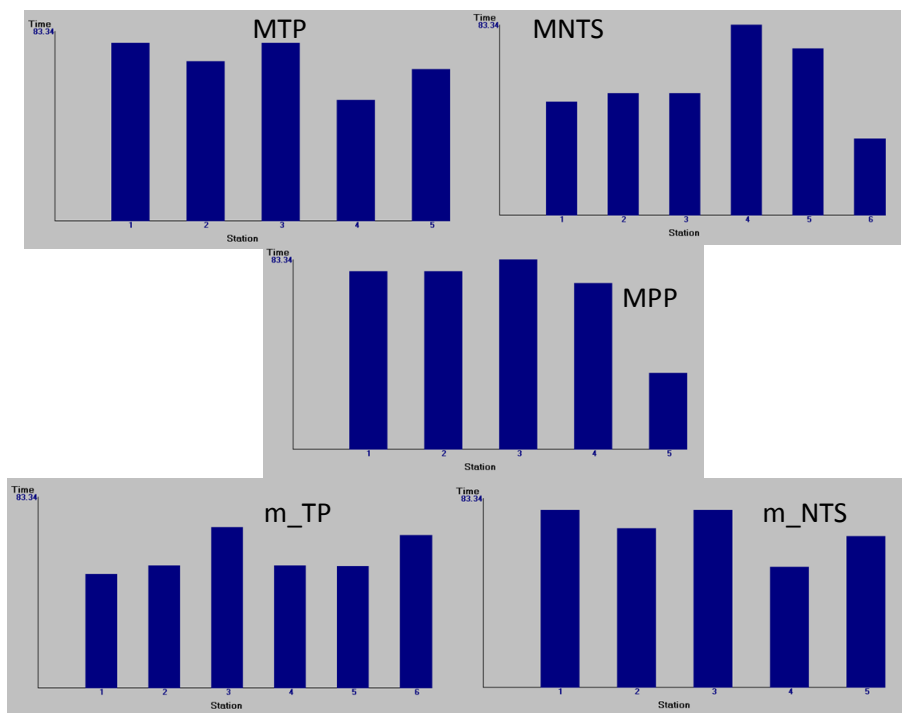


Figura 43 – Gráficos POM® Rodas <sup>[13]</sup>

A tabela seguinte apresenta os resultados gerados pelo SAD, referentes ao guiador.

Tabela 11 – Resultados POM® das Rodas

RODAS	MTP	MNTS	MPP	m_TP	m_NTS
<b>P</b>	345u	345u	345u	345u	345u
<b>C</b>	83,34s	83,34s	83,34s	83,34s	83,34s
<b>N<sub>actual</sub></b>	5u	6u	5u	6u	5u
<b>Σt<sub>inactive</sub></b>	70,14s	153,48s	70,14s	153,48s	70,14s
<b>%Eficiência</b>	83,17%	69,31%	83,17%	69,31%	83,17%

No ponto (3.3.4.3.) será feita a análise destes resultados e a comparação destes com os obtidos através do SAPLIMP, que serão apresentados de seguida.

#### 3.3.4.2 Resultados SAPLIMP

Considerando as três linhas relativas aos diagramas de precedências definidos em (3.3.4), foram analisadas as três meta-heurísticas (ANT, GA e SA) respeitando  $C=72s$ , para cada situação, dado que este *Software* considera PT paralelos.

Seguindo a mesma linha de pensamento anterior, tem-se o equipamento e as ferramentas de pequena dimensão do Cenário Original e os PT estão próximos entre si, tendo a linha a capacidade de produzir 400 unidades em 480 minutos. No Anexo XIV podem ser consultados os dados gerados pelo *Software* referentes à alocação das tarefas, estações, tempo de processamento e PT paralelos de uma solução, dado que, após a análise dos resultados gerados, verifica-se que as soluções geradas são similares, pois a quantidade de tarefas é reduzida e as restrições e precedências condicionam a afectação das tarefas às estações, não deixando margem para gerar soluções mais variadas.

Todos os cenários são facilmente implementados, é uma questão de redesenhar a configuração da Linha de Montagem de modo a responder em sintonia às necessidades da organização.

#### 3.3.4.3. Comparação dos Resultados

Como já foi referido anteriormente, o SAD POM<sup>®</sup> apresenta a limitação de não gerar PT paralelos, não considerando tempos de ciclo inferiores à duração da tarefa mais longa.

Face aos resultados obtidos escolheu-se para o problema principal o cenário segundo o **MPP** com 95,76% de eficiência e 10 postos de trabalho. Em relação ao guiador, existem dois cenários exactamente iguais com 72,42% de eficiência e 4 postos de trabalho (regras **MPP** e **MTP**). Por último, o cenário das rodas escolhido ronda os 83,17% de eficiência e considera 5 postos (**MPP**).

Deste modo, na 'Análise do Problema Não Admitindo Linha Única' (Anexo XIII), considerando os dados recolhidos e um ( $C=83,34$ ), a capacidade da Linha de Montagem não ultrapassa as 345 unidades em 480 minutos, tal como admitindo que as 53 tarefas são executadas numa linha única, e são necessários 20 PT (10 para o problema principal, 4 para o guiador, 5 para as rodas e 1 para o assento), para garantir que todas as tarefas sejam desempenhadas.

Comparativamente, o SAD SAPLIMP considera PT paralelos, caso seja necessário. Assim sendo, considerando os mesmos dados e respeitando um tempo de ciclo inferior ( $C=72s$ ) é possível atingir 400 unidades em 480 minutos, mais 55 bicicletas que no cenário anterior, tal como acontecia considerando as 53 tarefas a serem executadas numa linha única, no entanto é necessário mais um operário que no cenário anterior, uma vez que são necessários 21 PT, em que na linha principal é composta por 10 estações e duas são asseguradas por PT paralelos (total de

12 postos), a linha para o guiador tem 4 postos, a linha para as rodas 6 postos e a linha do assento 1 posto (Anexo XIV).

Relativamente ao facto da montagem ser assegurada por 4 linhas (Problema Principal, Guiador, Rodas e Assento), os processos são mais pequenos, com menor número de tarefas e por isso mais fáceis de controlar e alocar. Garante-se também que os operários não executam tarefas em conjuntos ou locais distintos. Adicionalmente, a roda, o guiador e o assento só dão entrada na Linha Principal, automática, quando estão completos.

No entanto, torna-se mais complicado sincronizar as 53 tarefas necessárias para completar uma bicicleta ao repartir a montagem por 4 linhas distintas. Se não houver stock de rodas, guiadores e assentos completos para garantir que o abastecimento da Linha Principal não falha isso poderá originar dificuldades na gestão do sistema.

Comparando estes resultados, com os anteriores gerados admitindo Linha Única, constata-se que separar as tarefas origina a necessidade de mais recursos humanos e maior inactividade nos PT, os operários conhecem apenas as tarefas do seu sector (rodas, guiador, assento ou problema principal) caso se mantenham sempre no mesmo PT, uma vez que a montagem dos componentes é feita por sectores.

De seguida será feita a análise comparativa dos cenários sem recurso a SAD vs com recurso a SAD.

### ***3.3.5 Análise Global dos Resultados***

Este ponto consiste na comparação entre os dois cenários sem o recurso a SAD (3.3.5.1) e o melhor cenário eleito (3.3.5.2), considerando que as tarefas fazem parte de uma linha única, e para o melhor cenário, considerando as quatro linhas (3.3.5.3 e 3.3.5.4).

#### ***3.3.5.1 Cenário Original vs Primeiro Cenário Alternativo***

As alterações efectuadas no Cenário Alternativo sem recurso a SAD permitiram reduzir as estações de trabalho e o número de trabalhadores, aumentar a eficiência da linha e obter uma capacidade de 400 unidades em 480 minutos com um tempo de ciclo inferior ao caso de referência, usando os mesmos equipamentos e ferramentas, recorrendo a PT paralelos para cumprir o tempo de ciclo e alterando a alocação das tarefas às estações. São 5 as estações que se vão manter em relação ao Cenário Original. Relativamente à eficiência da linha de montagem do Cenário Alternativo, esta ronda os 86,12%, logo, comparativamente ao caso de referência, terá uma melhoria na eficiência de 24,15%.

$$\text{Variação da eficiência} = 86,12 - 61,97 = 24,15\%$$

Para facilitar a comparação dos cenários, foi reunida numa tabela (tabela 12) a informação a comparar (consultar Anexos VI e VII).

**Tabela 12** – Análise comparativa Cenário Original vs Cenário Alternativo Sem Recurso a SAD

Descrição:	Cenário Original	vs	Cenário 1
Tempo necessário para produzir as 400 unidades	10 horas = 600 minutos		8 horas = 480 minutos
Número de estações de trabalho	25		20
Tempo de Ciclo	1,5 minutos		1,2 minutos
Tempo Inactivo (%)	38,03%		13,88%
Eficiência da linha de montagem (%)	61,97%		86,12%
PT	25		23
Equilíbrio das cargas	$1,2 \times 10^{-2}$		$1,2 \times 10^{-8}$

Para não adquirir equipamento, como já foi referido, as tarefas 36 e 37 devem ser executadas pelo mesmo operário na mesma máquina (figuras 21 e 22). No Cenário Alternativo as tarefas 36 e 37 encontram-se em estações distintas (16 e 17 respectivamente), sendo executadas por pessoas diferentes, uma vez que cada estação tem apenas um operário. É de salientar que as tarefas 36 (30,24s) e 37 (53,09s) necessitam da mesma máquina para serem executadas, como a soma de ambas perfaz um total de 83,33s e o tempo de ciclo a respeitar é de 72 segundos, no Cenário Alternativo encontram-se alocadas em estações diferentes, havendo deste modo a necessidade de adquirir uma máquina nova, já que não é possível respeitar o tempo de ciclo quando executadas na mesma máquina. No entanto é possível contornar o problema desempenhando uma das tarefas (36 ou 37) manualmente, sendo o tempo de execução praticamente igual quando se usa a máquina, basta o colaborador receber formação ou a tarefa ser assegurada por um operário experiente.



Neste seguimento, as alterações sugeridas permitem obter um maior rendimento da linha de montagem, dado que é possível produzir mais unidades para um mesmo período de tempo, sendo analisado para ambos os cenários L=480 minutos. Para este tempo de trabalho são produzidas mais 80 unidades que no Cenário Original, aumentando a eficiência da Linha de Montagem em 24,15%. No Cenário Alternativo a carga de trabalho não se encontra tão dividida uniformemente pelas estações (ver equilíbrio das cargas) mas a diferença entre os cenários é mínima. Por outro lado, a percentagem de tempo inactivo diminui consideravelmente.

Apesar da alocação das tarefas ser semelhante, com esta configuração a linha tem uma probabilidade superior de responder a necessidades de procura superiores às da Linha de Montagem do Cenário Original.

Por outro lado foram analisadas soluções recorrendo a sistemas de apoio à decisão e foram eleitos dois cenários que se julga terem potencial para uma futura implementação de modo a responder às necessidades da organização.

### ***3.3.5.2 Eleição do melhor Cenário Recorrendo aos SAD***

Considerando os cenários do POM<sup>®</sup> admitindo que as 53 tarefas são executadas numa Linha de Montagem Única, opta-se por seleccionar o cenário com maior eficiência e alocação das tarefas facilmente implementáveis, quer pela disposição, quer por ser o cenário que implica menos custos na sua implementação. Assim sendo, apesar da eficiência de MNTS e MPP ser 94,94%, considerando que as máquinas, ferramentas e equipamentos de pequena dimensão se mantêm em relação ao Cenário Original, é mais fácil controlar o processo de forma balanceada na solução obtida pela regra do MNTS, simplesmente porque tem menos estações de trabalho em que seja necessário executar tarefas nos dois ambientes distintos referidos anteriormente (mesa de trabalho e tapete giratório). Adicionalmente, a máquina que encaixa o pneu ao aro pode ser usada para todas as rodas (figuras 21 e 22), não havendo a necessidade de comprar outra máquina ou executar a tarefa manualmente, evitando gastos adicionais, o que não acontece com a regra MPP. Deste modo, seria eleito o cenário obtido com a regra **MNTS**, com 18 estações de trabalho e 75,88 segundos de inactividade da linha em cada ciclo e a capacidade de produzir 345 bicicletas em 480 minutos.

Por outro lado, o cenário eleito, de entre os quinze gerados pelo SAPLIMP, diz respeito ao **ANT**. Este cenário apresenta uma eficiência de 94%, tal como os restantes, mas implica menos custos de implementação (ver Anexo XIII). São 21 os PT e 19 estações de trabalho, a carga de trabalho apresenta o menor tempo inactivo nas estações 3 (0,50s), 4 (1,50s), 12 (1,96s) e 13 (2,00s) e um

maior tempo inactivo em 5 (7,70s), 15 (8,20s) e 19 (12,40), sendo o tempo total inactivo de 88,26 segundos.

No que diz respeito à alocação das tarefas neste cenário e tendo em conta os recursos disponíveis no cenário de referência, verifica-se que é necessário criar soluções alternativas às existentes na linha implementada, para evitar que o sistema encrave. Ao contrário do caso de aplicação, neste, a tarefa 5 não é assegurada pelo mesmo operário que executa a tarefa 4 na respectiva máquina (figura 15). Isto é, esta máquina aplica a caixa da direcção e em simultâneo permite assegurar a tarefa 5, pois enquanto o quadro se encontra fixo a aplicar a caixa da direcção, o operário, em simultâneo, aplica o movimento central. É possível que as tarefas 4 e 5 sejam desempenhadas por operários distintos, no entanto, seria complicado coordenar a sua movimentação e ao mesmo tempo respeitar o tempo de ciclo, pois estes facilmente se atropelam e o sistema iria encravar. Deste modo, para evitar atropelamento é necessário construir uma estrutura em ferro que permita fixar o quadro para aplicar o movimento central. Isto implica, custos adicionais para a empresa mas irrelevantes, visto que se trata de uma estrutura de pequena dimensão em tubo de ferro unidos com solda. Este tripé iria ficar situado junto à estação 4, dado que a ferramenta que aperta o movimento central se encontra instalada nessa estação.

Por outro lado, só existe uma máquina para encaixar o pneu no aro, deste modo uma das tarefas, 36 ou 37, teria de ser desempenhada manualmente, para evitar a necessidade de se adquirir uma nova máquina. Como o tempo de execução das tarefas é praticamente igual quando desempenhada manualmente por um operário experiente ou treinado, contorna-se o gasto adicional.

Quanto às restantes tarefas, facilmente serão realizadas, é uma questão de redesenhar a configuração da Linha de Montagem de acordo com a actual alocação das tarefas às estações de trabalho.

Resumindo, é necessário criar uma estrutura em ferro para assegurar a tarefa 5 e instalá-la junto à estação 4 e uma das tarefas 36 ou 37 será desempenhada manualmente. Os funcionários seriam 21 a executar as 53 tarefas que respeitam  $C = 72s$  para completar 400 unidades em 480 minutos. Existem estações em que algumas tarefas são desempenhadas no tapete automático, sendo as restantes executadas em mesa de trabalho fixa ou na estrutura de ferro. A eficiência da Linha de Montagem ronda os 94%, logo a percentagem de tempo inactivo da linha é de cerca de 6%. Com a configuração adequada, as tarefas serão facilmente executadas com êxito.

Relativamente aos dados gerados pelos SAD, quando se consideraram 4 linhas de montagem, foram analisados cinco cenários do POM<sup>®</sup> para cada linha, sendo eleito para o **problema principal**

o cenário obtido pela regra **MPP** (10 estações, 95,76% de eficiência e 35,33s de tempo inactivo), para o **guiador**, existem dois cenários exactamente iguais (**MPP** e **MTP**), logo, é indiferente seleccionar um ou outro (4 estações, 72,42% de eficiência e 91,93s de tempo inactivo) e para as **rodas** escolheu-se a solução gerada pela regra **MPP** (5 estações, 83,17% de eficiência e 70,14s de tempo inactivo).

Foram ainda analisados três cenários do SAPLIMP para cada linha, sendo eleito o cenário com melhor distribuição das tarefas, já que a eficiência da Linha de Montagem se mantém em todas as análises realizadas, diferindo apenas a alocação das tarefas. Neste contexto, para o problema principal foi eleito o cenário ANT com 10 estações, 12 PT e uma eficiência de 92%. Para o guiador foi eleito novamente a meta-heurística ANT e neste cenário são necessárias 4 estações, não havendo PT paralelos. A eficiência é de 84%. Finalmente para as rodas, são necessárias 6 estações, não havendo PT paralelos e tendo a linha ANT uma eficiência de 80%. Agrupando as quatro linhas (problema principal, guiador, rodas e assento) obtém-se 21 estações e 23 PT, sendo que o número mínimo teórico de estações é 19 (10 para o problema principal, 3 para o guiador, 5 para as rodas e 1 para o assento).

Admitindo quatro linhas, são apresentadas soluções com maior tempo inactivo, são necessários mais recursos humanos e as ferramentas poderão não ser facilmente partilhadas nos diferentes sectores. Cada grupo é independente (rodas, guiador e assento) e só quando estão completos é que dão entrada na linha principal. Os processos são mais fáceis de controlar, pois são menos tarefas, mas como são necessárias as 53 tarefas para que uma unidade seja concluída, ao agrupar os quatro conjuntos surgem outras dificuldades na sincronização das quatro linhas.

No ponto seguinte são apresentadas as conclusões acerca das análises realizadas.

### **3.3.5.3. Conclusões**

De entre os cenários eleitos anteriormente, serão eleitos considerados apenas dois (de acordo com diferentes níveis de procura) para representarem os cenários com recurso a SAD. Assim um cenário interessante diz respeito aos resultados gerados pelo *Software POM*<sup>®</sup>, considerando que as 53 tarefas apresentadas em Anexo III são executadas numa única linha. Este cenário apresenta 18 estações e uma eficiência de 94,94%, é facilmente implementável, dado que não é necessário adquirir novas máquinas e ou equipamento, no entanto está limitado à capacidade de 345 unidades em 480 minutos, uma vez que terá de respeitar um  $C=83,34s$ .

Outro cenário interessante diz respeito ao *Software SAPLIMP*, admitindo também que as 53 tarefas apresentadas no Anexo III são executadas numa única linha. Neste são necessárias 19

estações e 21PT, tendo a Linha de Montagem a capacidade de produzir 400 unidades em 480 minutos, com uma eficiência de 94%.

Sendo assim, o cenário eleito deverá ser um dos dois anteriores, sendo que o cenário escolhido dependerá da procura, pois apesar da capacidade de resposta à procura ser superior no cenário do *Software* SAPLIMP, nem sempre poderá interessar o facto de ter a capacidade de produzir mais unidades, uma vez que para produzir mais unidades são necessários mais três recursos humanos, o que implica o pagamento de mais três vencimentos mensais. Além disso as tarefas 36 e 37 são executadas em estações separadas o que implica adquirir uma nova máquina ou desempenhar uma das tarefas manualmente por um colaborador com formação.

Por outro lado, as linhas em “U” são interessantes para diminuir recursos humanos e a área que a linha de montagem ocupa e responder a necessidades de procura menores, no entanto são mais difíceis de desenhar.

Em suma, para solucionar o problema de balanceamento da Linha de Montagem e eleger o cenário ideal, em primeiro lugar é necessário identificar as falhas e aquilo que se pretende alcançar, para fazer os ajustes adequados.

Para distribuir a carga de trabalho de forma equilibrada é importante conhecer o processo e consoante a procura do produto ou a ausência de um ou mais colaboradores, fazer os ajustes necessários, balanceando a Linha de Montagem consoante a realidade em questão.

Por outro lado, é conveniente ter conjuntos previamente preparados, pois, no arranque, a linha tem determinado tempo de inactividade até que uma unidade chegue aos postos finais da linha e seja concluída. Os primeiros PT têm de garantir o trabalho dos PT seguintes para que estes não estejam inactivos e se consiga garantir a produção desejada, dentro do tempo estipulado (L).

# Capítulo 4

---

## Conclusão

#### **4. Conclusões e Perspectivas de Desenvolvimento Futuro**

De forma a balancear a linha de referência cumprindo precedências, restrições e os objectivos estabelecidos pela organização, é necessário conhecer o processo, distribuir a carga de trabalho de forma equilibrada e respeitar um determinado tempo de ciclo.

O presente trabalho centra-se nas potencialidades da utilização conjunta dos *Softwares* POM<sup>®</sup> e SAPLIMP aliados a uma situação real e implementada, com o intuito de apoiar as decisões de gestão das operações, facultando uma visão próxima do mundo real dos prós e dos contras das alterações efectuadas ao balancear a linha de montagem.

O resultado desta análise é útil para auxiliar o gestor da produção a decidir qual a alocação das tarefas às estações de trabalho e respectiva configuração da linha de montagem que mais se adequa às necessidades da empresa.

As acções que se julgam melhorar e aumentar a eficiência da linha de montagem, passam por alocar as tarefas às estações de trabalho de modo a atingir a procura (P) em determinado tempo (L), cumprindo precedências e restrições; deste modo, as tarefas são reajustadas para colmatar os tempos inactivos e distribuir de forma mais homogénea a carga do trabalho.

Tendo em conta os dados gerados pelo *Software* POM<sup>®</sup>, quaisquer dos cenários que possa ser eleito para uma futura implementação, cumpre o tempo de ciclo correspondente à duração da tarefa mais longa ( $C=83,34s$ ) e com este C é possível completar 345 unidades em 480 minutos.

O *Software* SAPLIMP considera PT paralelos e por isso tem a capacidade de gerar resultados para tempos de ciclo inferiores à duração da tarefa mais longa.

Qualquer dos cenários analisados melhora a eficiência do Cenário Original. Numa futura implementação, para cumprir os objectivos estabelecidos pela organização, poder-se-ia recorrer a diferentes cenários, sendo que, o essencial é manter a capacidade de ajustar o processo consoante as necessidades que surgem e actualizar essas alterações com rapidez e eficiência, para responder às necessidades evitando custos desnecessários e cumprindo tempos de resposta.

Quanto à implementação, trata-se de um procedimento viável que a pouco e pouco tem vindo a ser aplicado, quer no que diz respeito ao ajuste da alocação das tarefas aos PT, quer no que diz respeito à formação dos colaboradores e abastecimento dos componentes. Foram construídos suportes para as fitas dos aros, a estrutura em ferro para executar a tarefa 5 e foram acrescentados carrinhos para colocar os quadros já sem o papel (o que permite adiantar trabalho correspondente a cerca de 40 quadros).

Como perspectiva de desenvolvimento deste estudo, pretende-se efectuar a simulação do Cenário Original e dos cenários escolhidos com potencial para futura implementação, por forma a testar a robustez das soluções obtidas quando se considera que os tempos das tarefas, até agora considerados determinísticos, podem ter um comportamento estocástico. Neste sentido, foram já realizados alguns testes preliminares para verificar quais as distribuições estatísticas que melhor se ajustam aos dados recolhidos.

Em conclusão, a configuração eleita deve ser flexível o suficiente para se adaptar rapidamente às necessidades da organização garantindo também que a carga de trabalho seja distribuída uniformemente pelos colaboradores.

---

# Referências



## Referências

1. Guimarães, Rui Campos e José A.S. Cabral (1998), “Estatística”, Edição Revista, Mc Graw Hill.
2. Niebel, Benjamin e Andris Freivalds (2003), “Methods, standards, and work design”, 11ª Edição, Mc Graw Hill.
3. Simaria, A.S., A.R. Xambre, N.A. Filipe e P.M. Vilarinho (2008), SAPLIMP – Sistema de Apoio ao Planeamento de Linhas de Montagem e Produção.
4. Simaria, A.S. e P.M. Vilarinho (2001), “The simple assembly line balancing problem with parallel workstations – a simulated annealing approach”, *International Journal of Industrial Engineering*, 8, pp. 230-240.
5. Simaria, A.S. e P.M. Vilarinho (2004), “A genetic algorithm based approach to the mixed model assembly line balancing problem of type II”, *Computers & Industrial Engineering*, 47, pp. 391-407.
6. Simaria, A.S. e P.M. Vilarinho (2009), “2-ANTBAL: an ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided mixed-model assembly lines”, *Computers & Industrial Engineering*, 56, pp. 489-506.
7. Simaria, A.S., M. Zanella de Sá e P.M. Vilarinho (2008), “Meeting demand variations by using flexible U-shaped assembly lines” *International Journal of Production Research*, 47, pp. 3937-3955.
8. Simaria, A.S., A.R. Xambre, Filipe, N.A. e P.M. Vilarinho (2008), “A Decision Support System for Assembly and Production Line Balancing”, *Handbook on Business and information Systems*, in press, Worl Scientific Publishing Company PTE LD, edited by Angappa Gunasekaran and Maqsood Sandhu.
9. Sportis, Eventos Desportivos Lda., <http://www.sportis.pt>, acedido em 23 de Dezembro de 2008; 14:12;
10. Stevenson, William J. (2002), “Operations Management”, 7ª edição, Mc Graw Hill.
11. Vilarinho, P.M. e A.S. Simaria (2002), “A two-stage heuristic method for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations”, *International Journal of Production Research*, 40, pp. 1405-1420.

12.Vilarinho, P.M. e A.S. Simaria (2006), "ANTBAL: an ant colony optimization approach for balancing mixed model assembly lines with parallel workstations", *International Journal of Production Research*, 44, pp. 291-303.

13.Weiss, Howard J. (1996), POM for Windows, version 1.1, Copyright®  
[http://www.prenhall.com/weiss\\_pomwin](http://www.prenhall.com/weiss_pomwin).

---

# Anexos

# ***Anexo I***

---

Time Study Observation Form										Study No: Z-85				Date: 3-1-				Page 1 of 1			
										Operation: DIE CASTING				Operator: B. JONES				Observer: A F			
Element No. and Description		1 REMOVE PART FROM DIE, LUBRICATE DIE, INSPECT				2 PLACE PART IN FIXTURE, TAP ASIDE PART															
Note	Cycle	R	W	OT	NT	R	W	OT	NT	R	W	OT	NT	R	W	OT	NT	R	W	OT	NT
	1	90	30	270	90	23	207														
	2	100	27	270	100	21	210														
	3	90	31	279	90	23	207														
	4	85	35	298	100	20	200														
	5	100	28	280	100	20	200														
	6	110	25	275	110	18	198														
	7	90	31	279	90	24	216														
	8	100	28	280	85	24	204														
	9	90	32	288	90	23	207														
	10	110	26	286	105	19	200														
	11																				
	12																				
	13																				
	14																				
	15																				
	16																				
	17																				
	18																				
Summary																					
Total OT		2.93				2.15															
Rating		-				-															
Total NT		2.805				2.049															
No. Observations		10				10															
Average NT		.281				.205															
% Allowance		17				17															
Elemental Std. Time		.329				.240															
No. Occurrences		1				1															
Standard Time		.329				.240															
Total Standard Time (sum standard time for all elements):																		.569			
Foreign Elements										Time Check										Allowance Summary	
Sym	W1	W2	OT	Description			Finishing Time			3:48.00			Personal Needs			5					
A							Starting Time			3:42.00			Basic Fatigue			4					
B							Elapsed Time			6.00			Variable Fatigue			8					
C							TEBS			.60			Special			-					
D							TEAF			.32			Total Allowance %			17					
E							Total Check Time			.92			Remarks:								
F							Effective Time			5.08											
G							Ineffective Time			0											
Rating Check						Total Recorded Time			6.00												
Synthetic Time						% Unaccounted Time			0												
Observed Time						Recording Error %			0												












Formulário da recolha de dados da autoria de Benjamin Niebel e Andris Freivalds <sup>[2]</sup> p.381.

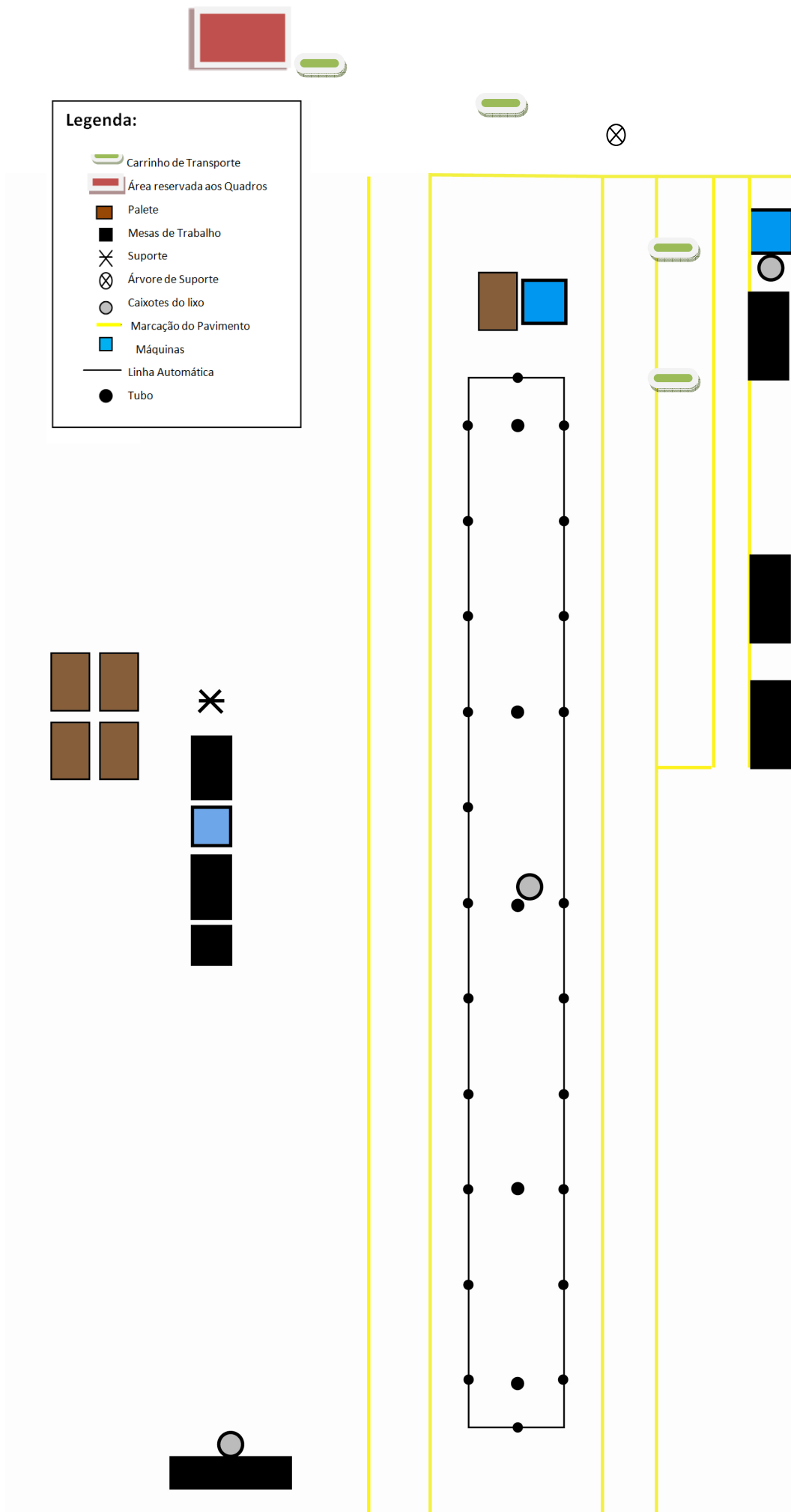
# ***Anexo II***

---

# PLANTA \_ CENÁRIO ORIGINAL

## Legenda:

-  Carrinho de Transporte
-  Área reservada aos Quadros
-  Palete
-  Mesas de Trabalho
-  Suporte
-  Árvore de Suporte
-  Caixotes do lixo
-  Marcação do Pavimento
-  Máquinas
-  Linha Automática
-  Tubo



# ***Anexo III***

---



## Tarefas e respectivas precedências

		Actividades				
		Descrição	Precedências			
Tarefas	1	Abrir a Caixa de Cartão				
	2	Retirar o Papel do Quadro e Colocá-lo no Carrinho	1			
	3	Arrumar Caixa de Cartão	2			
	4	Tirar Quadro do Carrinho e Aplicar Caixa de Direcção na Máquina	2			
	5	Aplicar Movimento Central	2			
	6	Colocar o Conjunto na Árvore de Suporte	4			
	7	Aplicar a grade e o Bidão da Água	6			
	8	Tirar plástico da forqueta e tampas para aplicar travão da frente				
	9	Aplicar a borboleta na forqueta	8			
	10	Posicionar Forqueta e Anilhas e Juntar ao Quadro	5	7	9	
	11	Preparar as Hastes e os Espigões dos Guiadores				
	12	Apertar Espigão na Haste	11			
	13	Preparar Manetes, Grifos e Punhos				
	14	Colocar Manetes, Grifos e Punhos	12	13		
	15	Apertar Grifos e Manetes	14			
	16	Aplicar Cabos de Travões	15			
	17	Aplicar Espirais	16			
	18	Apertar Guiador Completo	10	17		
	19	Engatar Cabos nos Passadores	18			
	20	Aplicar a Mudança de Trás	18			
	21	Fixar Cabo da Mudança de Trás	19	20		
	22	Posicionar o Crenco e a Pedaleira	5			
	23	Apertar o Crenco e a Pedaleira	22			
	24	Colocar as Tampas no Centro Pedaleiro	23			
	25	Aplicar a Mudança da Frente ou Desviador da Corrente	18			
	26	Fixar Cabo da Mudança da Frente	19	25		
	27	Tirar tampas do quadro para aplicar travão de trás	1			
	28	Pôr Massa no Espigão dos Travões	8	27		
	29	Posicionar os travões no quadro e na forqueta	28			
	30	Apertar os travões no quadro e na forqueta	29			
	31	Cravar a Corrente	18			
	32	Colocar a Fita no Aro _ Roda da Frente				
	33	Colocar a Fita no Aro _ Roda de Trás				
	34	Agrupar Pneu e Câmara ao Aro _ Roda da Frente	32			
	35	Agrupar Pneu e Câmara ao Aro _ Roda de Trás	33			
	36	Encaixar o Pneu no Aro, com Auxílio da Máquina _ Roda da Frente	34			
	37	Encaixar o Pneu no Aro, com Auxílio da Máquina _ Roda de Trás	35			
	38	Ar, Aperto Rápido e Carapuça _ Roda da Frente	36			
	39	Ar, Porcas e Carapuça _ Roda de Trás	37			
	40	Aplicar Carreto, Disco e Porcas _ Roda de Trás	39			
	41	Aplicar Roda da Frente	18	38		
	42	Aplicar Roda de Trás e Encaixar a Corrente	18	23	31	40
	43	Afinar Mudanças	19	21	26	
	44	Apertar Cabo do Travão da Frente	19	30	41	
	45	Apertar Cabo do Travão de Trás	19	30	42	
	46	Afinar Travão da Frente	44			
	47	Afinar Travão de Trás	45			
	48	Aplicar os Pedais _ Par	23			
	49	Aparar Cabos e aplicar os Terminais	43	46	47	
	50	Retirar Bicicleta da Linha	24	48	49	
	51	Fixar no Quadro a Blocação Rápida do Selim	1			
	52	Posicionar e Apertar o Espigão ao Selim				
	53	Apertar Selim no Quadro	50	51	52	

# ***Anexo IV***

---

## Registo das observações

Tarefas	Tempo										Σ	s	n
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>			
1	3,91	3,76	4,15	3,86	3,63	3,97	4,55	3,93	4,42	3,77	3,995	0,29	8,4
2	59,78	55,81	56,61	59,47	59,89	52,09	48,73	53,13	58,27	59,89	56,37	3,9	7,4
3	17,04	17,26	16,97	18,23	19,56	15,89	19,97	17,93	16,64	17,77	17,73	1,27	7,9
4	6,82	7,16	7,75	6,45	7,56	7,15	6,93	6,78	7,72	7,03	7,135	0,43	5,5
5	41,22	44,21	38,75	37,67	48,81	45,27	43,19	42,37	43,62	45,21	43,03	3,26	8,8
6	5,37	4,63	5,32	5,17	4,64	5,43	5,76	5,68	5,47	5,27	5,274	0,38	8
7	28,33	25,17	29,97	23,6	24,59	26,21	26,23	25,72	26,6	28,89	26,53	1,99	8,7
8	6,37	6,87	7,23	6,39	6,46	6,97	6,3	7,49	6,87	6,72	6,767	0,4	5,3
9	18,8	17,82	18,12	22,31	17,69	19,88	19,36	19,79	19,75	18,33	19,19	1,38	7,9
10	24,73	25,81	26,71	27,07	26,87	21,61	25,89	24,78	24,68	26,53	25,47	1,63	6,3
11	21,52	21,76	21,16	19,87	19,29	22,65	21,57	18,42	19,08	20,59	20,59	1,37	6,8
12	48,68	49,31	51,15	50,73	48,24	51,72	54,03	47,98	48,27	59,17	50,93	3,48	7,2
13	16,35	18,28	17,38	18,16	17,91	15,52	14,46	16,56	17,27	16,86	16,88	1,21	7,9
14	30,48	32,57	31,19	31,19	31,83	31,28	31,44	31,09	31,57	32,12	31,48	0,59	0,5
15	25,97	31,26	26,61	26,15	24,16	29,38	26,81	28,18	27,19	28,04	27,38	1,97	8
16	32,97	29,87	30,03	26,45	30,16	32,96	31,86	29,56	31,23	27,98	30,31	2,07	7,2
17	13,74	13,48	12,69	13,51	15,61	12,78	13,87	14,56	15,28	14,87	14,04	1	7,9
18	50,51	45,38	45,93	51,48	45,64	43,57	40,57	46,65	45,44	49,89	46,51	3,33	7,9
19	39,97	44,17	39,56	41,07	43,56	44,21	43,08	46,57	43,56	35,97	42,17	3,05	8
20	11,32	10,58	10,9	11,01	11,48	12,18	12,82	11,87	12,04	11,79	11,6	0,67	5,2
21	25,59	26,77	25,87	26,87	29,19	27,22	25,67	26,4	27,5	27,1	26,82	1,07	2,4
22	3,27	3,19	2,97	2,94	3,12	3,31	3,54	3,82	3,19	3,33	3,268	0,26	9,8
23	9,62	9,52	9,39	9,38	9,23	9,65	9,26	9,75	10,27	9,29	9,536	0,31	1,7
24	4,23	4,19	4,29	4,15	3,52	4,43	4,64	4,37	3,87	4,27	4,196	0,31	8,4
25	19,62	21,98	20,34	23,95	19,93	21,96	21,42	20,38	21,67	21,38	21,26	1,27	5,5
26	7,54	6,89	6,58	6,45	7,12	6,67	6,93	6,91	6,87	6,79	6,875	0,3	3
27	6,17	6,51	6,38	5,13	6,21	5,73	6,43	5,78	5,73	6,34	6,041	0,44	8
28	11,03	10,78	11,26	10,83	10,76	10,7	12,51	13,27	11,54	10,89	11,36	0,87	8,9
29	10,74	11,57	11,62	12,99	13,38	11,22	11,37	11,53	10,87	11,47	11,68	0,85	8,2
30	13,73	13,84	14,15	14,67	14,84	14,87	14,76	15,2	13,42	13,74	14,32	0,62	2,8
31	15,02	13,52	12,84	12,81	12,74	13,9	14,65	12,15	13,59	12,78	13,4	0,91	7,2
32	22,68	23,11	21,76	24,02	19,43	21,98	22,39	21,97	24,64	21,86	22,38	1,42	6,2
33	22,68	23,11	21,76	24,02	19,43	21,98	22,39	21,97	24,64	21,86	22,38	1,42	6,2
34	47,04	45,69	49,63	44,28	45,23	47,17	54,29	52,56	47,82	47,67	48,14	3,19	6,7
35	47,04	45,69	49,63	44,28	45,23	47,17	54,29	52,56	47,82	47,67	48,14	3,19	6,7
36	25,29	30,21	27,51	24,09	26,54	28,63	25,56	29,34	26,97	28,33	27,25	1,93	7,7
37	49,67	48,87	49,92	48,74	42,54	50,14	48,49	51,39	41,23	47,26	47,83	3,33	7,5
38	40,31	37,11	33,14	39,15	34,37	33,59	34,29	34,32	39,21	34,24	35,97	2,7	8,6
39	27,63	28,36	29,19	29,14	30,61	29,58	34,87	30,41	29,33	30,22	29,93	1,96	6,6
40	28,98	32,96	31,61	29,98	28,66	29,24	28,83	34,79	27,92	28,93	30,19	2,22	8,3
41	9,18	7,57	7,53	7,85	8,76	8,04	7,87	7,65	7,71	7,51	7,967	0,56	7,7
42	18,56	14,66	15,87	17,81	15,96	16,18	16,48	16,87	16,59	16,78	16,58	1,07	6,4
43	81,13	70,96	79,22	77,44	78,47	79,01	62,97	74,22	69,37	78,01	75,08	5,69	8,8
44	12,89	12,55	11,67	12,03	12,75	12,45	12,67	12,88	12,43	12,33	12,47	0,38	1,5
45	12,89	12,55	11,67	12,03	12,75	12,45	12,67	12,88	12,43	12,33	12,47	0,38	1,5
46	56,12	58,5	55,39	57,42	58,87	59,83	58,97	59,72	58,21	56,99	58	1,49	1
47	85,92	79,56	81,37	83,97	84,58	81,43	85,19	86,22	89,07	85,97	84,33	2,83	1,7
48	24,34	28,36	23,34	24,73	25,13	27,18	27,36	25,41	28,67	28,32	26,28	1,92	8,2
49	18,56	18,73	17,95	17,6	18,56	18,79	17,41	18,87	17,32	17,12	18,09	0,68	2,2
50	6,12	5,97	6,3	6,38	5,84	7,13	7,27	6,23	5,89	6,65	6,378	0,5	9,3
51	7,16	7,28	7,35	8,56	7,37	7,84	6,53	7,27	7,13	7,02	7,351	0,54	8,2
52	15,8	16,07	15,7	16,22	15,5	17,44	16,23	17,64	16,3	17,29	16,42	0,76	3,3
53	10,59	11,03	12,1	13,21	12,38	11,61	10,57	11,47	10,81	11,36	11,51	0,85	8,3

# ***Anexo V***

---

## Tempos Padrão

		Factor Desempenho RF	Tempo Normal NT (s)	Compensação Fadiga A	Tempo Padrão ST (s)
Tarefas	1	1	3,995	0,11	4,43
	2	1	56,367	0,11	62,57
	3	1	17,726	0,11	19,68
	4	1	7,135	0,11	7,92
	5	1	43,032	0,11	47,77
	6	1	5,274	0,11	5,85
	7	1,05	27,85755	0,11	30,92
	8	1,05	7,10535	0,11	7,89
	9	1,05	20,14425	0,11	22,36
	10	1	25,468	0,11	28,27
	11	1	50,928	0,11	56,53
	12	1	16,875	0,11	18,73
	13	1	31,476	0,11	34,94
	14	1	27,375	0,11	30,39
	15	1	30,307	0,11	33,64
	16	1	14,039	0,11	15,58
	17	1	46,506	0,11	51,62
	18	1	20,591	0,11	22,86
	19	1	42,172	0,11	46,81
	20	1	11,599	0,11	12,87
	21	1	26,818	0,11	29,77
	22	1	3,268	0,11	3,63
	23	1	9,536	0,11	10,58
	24	1	4,196	0,11	4,66
	25	1	21,263	0,11	23,6
	26	1	6,875	0,11	7,63
	27	1	6,041	0,11	6,71
	28	1	11,357	0,11	12,61
	29	1	11,6761	0,11	12,96
	30	1	14,322	0,11	15,90
	31	1	13,4	0,11	14,87
	32	1	22,384	0,11	24,85
	33	1	22,384	0,11	24,85
	34	1	48,138	0,11	53,43
	35	1	48,138	0,11	53,43
	36	1	27,247	0,11	30,24
	37	1	47,825	0,11	53,09
	38	1	35,973	0,11	39,93
	39	1	29,934	0,11	33,23
	40	1	30,19	0,11	33,51
	41	1	7,967	0,11	8,84
	42	1	16,576	0,11	18,40
	43	1	75,08	0,11	83,34
	44	1	12,465	0,11	13,84
	45	1	12,465	0,11	13,84
	46	1	58,002	0,11	64,38
	47	0,8	67,4624	0,11	74,88
	48	1	26,284	0,11	29,18
	49	1	18,091	0,11	20,08
	50	1	6,378	0,11	7,08
	51	1	7,351	0,11	8,16
	52	1	16,419	0,11	18,23
	53	1	11,513	0,11	12,78

# ***Anexo VI***

---

## Cenário Original

Estação de Trabalho	Tempo Restante (s)	Tarefa Alocada	Tempo Inactivo (s)
1	90,00	1 (4,43)	8,13
	85,57	27 (6,71)	
	78,86	51 (8,16)	
	70,70	2(62,57)	
	8,13	-	
2	90,00	3 (19,68)	70,32
	70,32	-	
3	90,00	4 (7,92)	28,46
	82,08	5(47,77)	
	34,31	6 (5,85)	
	28,46	-	
4	90,00	7 (30,92)	28,83
	59,08	8 (7,89)	
	51,19	9 (22,36)	
	28,83	-	
5	90,00	10 (28,27)	38,87
	61,73	18 (22,86)	
	38,87	-	
6	90,00	11 (56,53)	14,74
	33,47	12 (18,73)	
	14,74	-	
7	90,00	13 (34,94)	24,67
	55,06	14 (30,39)	
	24,67	-	
8	90,00	15 (33,64)	56,36
	56,36	-	
9	90,00	16 (15,58)	22,80
	74,42	17 (51,62)	
	22,80	-	
10	90,00	19 (46,81)	30,32
	43,19	20 (12,87)	
	30,32	-	
11	90,00	21(29,77)	41,36
	60,23	22(3,63)	
	56,60	23(10,58)	
	46,02	24(4,66)	
	41,36	-	
12	90,00	25 (23,60)	66,40
	66,40	-	
13	90,00	28 (12,61)	48,53
	77,39	29 (12,96)	
	64,43	30 (15,90)	
	48,53	-	
14	90,00	32 (24,85)	40,30
	65,15	33 (24,85)	
	40,30	-	
15	90,00	34 (53,43)	36,57
	36,57	-	
16	90,00	35 (53,43)	36,57
	36,57	-	
17	90,00	36 (30,24)	6,67
	59,76	37 (53,09)	
	6,67	-	
18	90,00	38 (39,93)	16,84
	50,07	39 (33,23)	
	16,84	-	
19	90,00	40 (33,51)	56,49
	56,49	-	
20	90,00	31 (14,87)	40,26
	75,13	41 (8,84)	
	66,29	42 (18,40)	
	47,89	26 (7,63)	
	40,26	-	
21	90,00	43 (83,34)	6,66
	6,66	-	
22	90,00	44 (13,84)	41,78
	76,16	46 (64,38)	
	41,78	-	
23	90,00	45 (13, 84)	1,28
	76,16	47 (74,88)	
	1,28	-	
24	90,00	48 (29, 18)	33,66
	60,82	49 (20,08)	
	40,74	50 (7,08)	
	33,66	-	
25	90,00	52 (18,23)	58,99
	71,77	53 (12,78)	
	58,99	-	
<b>Σ = 1424,14 (s)</b>			<b>Σ = 855,86 (s)</b>

# ***Anexo VII***

---



### Cenário alternativo sem recurso a SAD

Estação de Trabalho	Tempo Restante (s)	Tarefa Alocada	Tempo Inactivo (s)
1	72,00 67,57 60,86 52,70 34,47 14,79	1 (4,43) 27 (6,71) 51 (8,16) 52 (18,23) 3 (19,68) -	14,79
2	72,00 9,43	2(62,57) -	9,43
3	72,00 64,08 16,31 12,68 2,10	4 (7,92) 5(47,77) 22(3,63) 23(10,58) -	2,10
4	72,00 67,34 61,49 30,57 22,68 0,32	24(4,66) 6 (5,85) 7 (30,92) 8 (7,89) 9 (22,36) -	0,32
5	72,00 43,73 20,87	10 (28,27) 18 (22,86) -	20,87
6	72,00 15,47	11 (56,53) -	15,47
7	72,00 53,27 18,33	12 (18,73) 13 (34,94) -	18,33
8	72,00 41,61 7,97	14 (30,39) 15 (33,64) -	7,97
9	72,00 56,42 4,80	16 (15,58) 17 (51,62) -	4,80
10	72,00 25,19 12,32	19 (46,81) 20 (12,87) -	12,32
11	72,00 42,23 18,63 3,76	21(29,77) 25 (23,60) 31 (14,87) -	3,76
12	72,00 59,39 46,43 30,53 21,69 3,29	28 (12,61) 29 (12,96) 30 (15,90) 41 (8,84) 42 (18,40) -	3,29
13	72,00 47,15 22,30 15,22 2,44	32 (24,85) 33 (24,85) 50 (7,08) 53 (12,78) -	2,44
14	72,00 18,57	34 (53,43) -	18,57
15	72,00 18,57	35 (53,43) -	18,57
16	72,00 41,76 1,83	36 (30,24) 38 (39,93) -	1,83
17	72,00 18,91	37 (53,09) -	18,91
18	72,00 38,77 5,26	39 (33,23) 40 (33,51) -	5,26
19	72,00 57,41 53,59 11,92	48 (29,18) :2 26 (7,63) :2 43 (83,34) :2 -	2 Pessoas 23,85
20	72,00 65,08 58,16 36,70 11,74 5,05	44 (13,84) :3 45 (13,84) :3 46 (64,38) :3 47 (74,88) :3 49 (20,08) :3 -	3 Pessoas 28,98
		$\Sigma = 1424, 14 \text{ (s)}$	$\Sigma = 229, 76(s)$

# ***Anexo VIII***

---

### Maior Tempo de Processamento \_ MTP

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	11	56,63	26,71	1, 8, 13, 32, 33, 52, 12
	32	24,85	1,859993	1, 8, 13, 33, 52, 12, 34
2	34	53,43	29,91	1, 8, 13, 33, 52, 12, 36
	33	24,85	5,059998	1, 8, 13, 52, 12, 36, 35
	1	4,43	0,6299973	8, 13, 52, 12, 36, 35, 2, 27, 51
3	2	62,57	20,77	8, 13, 52, 12, 36, 35, 27, 51, 3, 4, 5
	3	19,68	1,089996	8, 13, 52, 12, 36, 35, 27, 51, 4, 5
4	35	53,43	29,91	8, 13, 52, 12, 36, 27, 51, 4, 5, 37
	12	18,73	11,17999	8, 13, 52, 36, 27, 51, 4, 5, 37
	51	8,16	3,019989	8, 13, 52, 36, 27, 4, 5, 37
5	37	53,09	30,25	8, 13, 52, 36, 27, 4, 5, 39
	36	30,24	9,99E-03	8, 13, 52, 27, 4, 5, 39, 38
6	5	47,77	35,57	8, 13, 52, 27, 4, 39, 38, 22
	13	34,94	0,6299973	8, 52, 27, 4, 39, 38, 22, 14
7	38	39,93	43,41	8, 52, 27, 4, 39, 22, 14
	39	33,23	10,17999	8, 52, 27, 4, 22, 14, 40
	4	7,92	2,259995	8, 52, 27, 22, 14, 40, 6
8	40	33,51	49,83	8, 52, 27, 22, 14, 6
	14	30,39	19,44	8, 52, 27, 22, 6, 15
	52	18,23	1,209999	8, 27, 22, 6, 15
9	15	33,64	49,7	8, 27, 22, 6, 16
	16	15,58	34,12	8, 27, 22, 6, 17
	8	7,89	26,23	27, 22, 6, 17, 9
	9	22,36	3,869995	27, 22, 6, 17
	22	3,63	0,2399979	27, 6, 17, 23
10	17	51,62	31,72	27, 6, 23
	23	10,58	21,14	27, 6, 24, 48
	27	6,71	14,43	6, 24, 48, 28
	28	12,61	1,82	6, 24, 48, 29
11	48	29,18	54,16	6, 24, 29
	29	12,96	41,2	6, 24, 30
	30	15,9	25,3	6, 24
	6	5,85	19,45	24, 7
	24	4,66	14,78999	7
12	7	30,92	52,42	10
	10	28,27	24,14999	18
	18	22,86	1,289993	19, 20, 25, 31, 41
13	19	46,81	36,52999	20, 25, 31, 41
	25	23,6	12,92999	20, 31, 41, 26
	20	12,87	6,00E-02	31, 41, 26, 21
14	21	29,77	53,57	31, 41, 26
	31	14,87	38,7	41, 26, 42
	42	18,4	20,3	41, 26, 45
	45	13,84	6,459991	41, 26, 47
15	47	74,88	8,459999	41, 26
	26	7,63	0,8300018	41, 43
16	43	83,34	0	41
17	41	8,84	74,5	44
	44	13,84	60,66	46
18	46	64,38	18,96	49
19	49	20,08	63,25999	50
	50	7,08	56,18	53
	53	12,78	43,4	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			1583,46	
Time needed (sum task)			1424,24	
Idle time (allocated-needed)			159,2201	
Efficiency (needed/allocated)			89,9448	
Balance Delay (1-efficiency)			10,0552	
Min (theoretical) # of stations			18	

### Maior Número de Tarefas Sucessoras \_ MNTS

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	4,43	78,91	8, 11, 13, 32, 33, 52, 2, 27, 51
	2	62,57	16,34	8, 11, 13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 4, 5
	8	7,89	8,449997	11, 13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 4, 5, 9
	4	7,92	0,5299988	11, 13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 6
2	11	56,63	26,71	13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 6, 12
	12	18,73	7,979996	13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 6
	6	5,85	2,129997	13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 7
3	5	47,77	35,57	13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 9, 7, 22
	13	34,94	0,6299973	32, 33, 52, 27, 51, 3, 9, 7, 22, 14
4	14	30,39	52,95	32, 33, 52, 27, 51, 3, 9, 7, 22, 15
	15	33,64	19,31	32, 33, 52, 27, 51, 3, 9, 7, 22, 16
	16	15,58	3,729996	32, 33, 52, 27, 51, 3, 9, 7, 22, 17
	22	3,63	1,00E-01	32, 33, 52, 27, 51, 3, 9, 7, 17, 23
5	9	22,36	60,98	32, 33, 52, 27, 51, 3, 7, 17, 23
	7	30,92	30,06	32, 33, 52, 27, 51, 3, 17, 23, 10
	10	28,27	1,79E+00	32, 33, 52, 27, 51, 3, 17, 23
6	17	51,62	31,72	32, 33, 52, 27, 51, 3, 23, 18
	18	22,86	8,860001	32, 33, 52, 27, 51, 3, 23, 19, 20, 25, 31
	27	6,71	2,150002	32, 33, 52, 51, 3, 23, 19, 20, 25, 31, 28
7	33	24,85	58,49	32, 52, 51, 3, 23, 19, 20, 25, 31, 28, 35
	19	46,81	11,67999	32, 52, 51, 3, 23, 20, 25, 31, 28, 35
	23	10,58	1,099991	32, 52, 51, 3, 20, 25, 31, 28, 35, 24, 48
8	32	24,85	58,49	52, 51, 3, 20, 25, 31, 28, 35, 24, 48, 34
	28	12,61	45,88	52, 51, 3, 20, 25, 31, 35, 24, 48, 34, 29
	29	12,96	32,92	52, 51, 3, 20, 25, 31, 35, 24, 48, 34, 30
	30	15,9	17,02	52, 51, 3, 20, 25, 31, 35, 24, 48, 34
	31	14,87	2,149994	52, 51, 3, 20, 25, 35, 24, 48, 34
9	35	53,43	29,91	52, 51, 3, 20, 25, 24, 48, 34, 37
	20	12,87	17,03999	52, 51, 3, 25, 24, 48, 34, 37, 21
	24	4,66	12,37999	52, 51, 3, 25, 48, 34, 37, 21
	51	8,16	4,219986	52, 3, 25, 48, 34, 37, 21
10	34	53,43	29,91	52, 3, 25, 48, 37, 21, 36
	25	23,6	6,31E+00	52, 3, 48, 37, 21, 36, 26
11	37	53,09	30,25	52, 3, 48, 21, 36, 26, 39
	36	30,24	9,99E-03	52, 3, 48, 21, 26, 39, 38
12	39	33,23	50,11	52, 3, 48, 21, 26, 38, 40
	38	39,93	10,17999	52, 3, 48, 21, 26, 40, 41
	41	8,84	1,339996	52, 3, 48, 21, 26, 40, 44
13	40	33,51	49,83	52, 3, 48, 21, 26, 44, 42
	42	18,4	31,43	52, 3, 48, 21, 26, 44, 45
	21	29,77	1,660004	52, 3, 48, 26, 44, 45
14	26	7,63	75,71	52, 3, 48, 44, 45, 43
	44	13,84	61,87	52, 3, 48, 45, 43, 46
	45	13,84	48,02999	52, 3, 48, 43, 46, 47
	48	29,18	18,84999	52, 3, 43, 46, 47
	52	18,23	0,6199951	3, 43, 46, 47
15	43	83,34	0	3, 46, 47
16	46	64,38	18,96	3, 47
17	47	74,88	8,459999	3, 49
18	49	20,08	63,25999	3, 50
	50	7,08	56,18	3, 53
	3	19,68	36,5	53
	53	12,78	23,72	
<b>Summary Statistics</b>				
	Cycle time		83,34	
	Time allocated (cyc*sta)		1500,12	
	Time needed (sum task)		1424,24	
	Idle time (allocated-needed)		75,88	
	Efficiency (needed/allocated)		94,94173	
	Balance Delay (1-efficiency)		5,058263	
	Min (theoretical) # of stations		18	

### Maior Peso Posicional \_ MPP

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	4,43	78,91	8, 11, 13, 32, 33, 52, 2, 27, 51
	2	62,57	16,34	8, 11, 13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 4, 5
	8	7,89	8,449997	11, 13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 4, 5, 9
	4	7,92	0,5299988	11, 13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 6
2	11	56,63	26,71	13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 6, 12
	12	18,73	7,979996	13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 6
	6	5,85	2,13E+00	13, 32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 7
3	13	34,94	48,4	32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 7, 14
	14	30,39	18,00999	32, 33, 52, 27, 51, 3, 5, 9, 7, 15
	27	6,71	11,3	32, 33, 52, 51, 3, 5, 9, 7, 15, 28
	51	8,16	3,139999	32, 33, 52, 3, 5, 9, 7, 15, 28
4	5	47,77	35,57	32, 33, 52, 3, 9, 7, 15, 28, 22
	15	33,64	1,929993	32, 33, 52, 3, 9, 7, 28, 22, 16
5	16	15,58	67,75999	32, 33, 52, 3, 9, 7, 28, 22, 17
	7	30,92	36,84	32, 33, 52, 3, 9, 28, 22, 17
	9	22,36	14,48	32, 33, 52, 3, 28, 22, 17, 10
	28	12,61	1,869995	32, 33, 52, 3, 22, 17, 10, 29
6	17	51,62	31,72	32, 33, 52, 3, 22, 10, 29
	10	28,27	3,449997	32, 33, 52, 3, 22, 29, 18
7	18	22,86	60,48	32, 33, 52, 3, 22, 29, 19, 20, 25, 31
	19	46,81	13,67	32, 33, 52, 3, 22, 29, 20, 25, 31
	29	12,96	0,7099991	32, 33, 52, 3, 22, 20, 25, 31, 30
8	33	24,85	5,85E+01	32, 52, 3, 22, 20, 25, 31, 30, 35
	35	53,43	5,059998	32, 52, 3, 22, 20, 25, 31, 30, 37
	22	3,63	1,43	32, 52, 3, 20, 25, 31, 30, 37, 23
9	32	24,85	58,49	52, 3, 20, 25, 31, 30, 37, 23, 34
	37	53,09	5,399994	52, 3, 20, 25, 31, 30, 23, 34, 39
10	34	53,43	29,91	52, 3, 20, 25, 31, 30, 23, 39, 36
	30	15,9	14,00999	52, 3, 20, 25, 31, 23, 39, 36
	23	10,58	3,429993	52, 3, 20, 25, 31, 39, 36, 24, 48
11	39	33,23	50,11	52, 3, 20, 25, 31, 36, 24, 48, 40
	36	30,24	19,87	52, 3, 20, 25, 31, 24, 48, 40, 38
	20	12,87	6,999992	52, 3, 25, 31, 24, 48, 40, 38, 21
	24	4,66	2,339996	52, 3, 25, 31, 48, 40, 38, 21
12	40	33,51	49,83	52, 3, 25, 31, 48, 38, 21
	38	39,93	9,899994	52, 3, 25, 31, 48, 21, 41
	41	8,84	1,059998	52, 3, 25, 31, 48, 21, 44
13	31	14,87	68,46999	52, 3, 25, 48, 21, 44, 42
	25	23,6	44,87	52, 3, 48, 21, 44, 42, 26
	21	29,77	15,09999	52, 3, 48, 44, 42, 26
	26	7,63	7,469994	52, 3, 48, 44, 42, 43
14	42	18,4	64,93999	52, 3, 48, 44, 43, 45
	45	13,84	51,1	52, 3, 48, 44, 43, 47
	44	13,84	37,26	52, 3, 48, 43, 47, 46
	48	29,18	8,080002	52, 3, 43, 47, 46
15	43	83,34	0	52, 3, 47, 46
16	47	74,88	8,459999	52, 3, 46
17	46	64,38	18,96	52, 3, 49
	52	18,23	0,7299957	3, 49
18	49	20,08	63,25999	3, 50
	50	7,08	56,18	3, 53
	3	19,68	36,5	53
	53	12,78	23,72	
<b>Summary Statistics</b>				
	Cycle time		83,34	
	Time allocated (cyc*sta)		1500,12	
	Time needed (sum task)		1424,24	
	Idle time (allocated-needed)		75,88	
	Efficiency			
	(needed/allocated)		94,94173	
	Balance Delay (1-efficiency)		5,058263	
	Min (theoretical) # of stations		18	

### Menor Tempo de Processamento \_ m\_TP

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	4,43	78,91	8, 11, 13, 32, 33, 52, 2, 27, 51
	27	6,71	72,2	8, 11, 13, 32, 33, 52, 2, 51
	8	7,89	64,31	11, 13, 32, 33, 52, 2, 51, 9, 28
	51	8,16	56,15	11, 13, 32, 33, 52, 2, 9, 28
	28	12,61	43,54	11, 13, 32, 33, 52, 2, 9, 29
	29	12,96	30,58	11, 13, 32, 33, 52, 2, 9, 30
	30	15,9	14,68	11, 13, 32, 33, 52, 2, 9
2	52	18,23	65,11	11, 13, 32, 33, 2, 9
	9	22,36	42,75	11, 13, 32, 33, 2
	32	24,85	17,89999	11, 13, 33, 2, 34
3	33	24,85	58,49	11, 13, 2, 34, 35
	13	34,94	23,55	11, 2, 34, 35
4	34	53,43	29,91	11, 2, 35, 36
5	36	30,24	53,1	11, 2, 35, 38
	38	39,93	13,17	11, 2, 35
6	35	53,43	29,91	11, 2, 37
7	37	53,09	30,25	11, 2, 39
8	39	33,23	50,11	11, 2, 40
	40	33,51	16,6	11, 2
9	11	56,63	26,71	2, 12
	12	18,73	7,979996	2, 14
10	14	30,39	52,95	2, 15
	15	33,64	19,31	2, 16
	16	15,58	3,729996	2, 17
11	17	51,62	31,72	2
12	2	62,57	20,77	3, 4, 5
	4	7,92	12,85	3, 5, 6
	6	5,85	7	3, 5, 7
13	3	19,68	63,66	5, 7
	7	30,92	32,74	5
14	5	47,77	35,57	10, 22
	22	3,63	31,93999	10, 23
	23	10,58	21,35999	10, 24, 48
	24	4,66	16,7	10, 48
15	10	28,27	55,07	48, 18
	18	22,86	32,21	48, 19, 20, 25, 31, 41
	41	8,84	23,37	48, 19, 20, 25, 31
	20	12,87	10,49999	48, 19, 25, 31
16	31	14,87	68,46999	48, 19, 25, 42
	42	18,4	50,07	48, 19, 25
	25	23,6	26,46999	48, 19
17	48	29,18	54,16	19
	19	46,81	7,349991	21, 26, 44, 45
18	26	7,63	75,71	21, 44, 45
	44	13,84	61,87	21, 45, 46
	45	13,84	48,02999	21, 46, 47
	21	29,77	18,25999	46, 47, 43
19	46	64,38	18,96	47, 43
20	47	74,88	8,459999	43
21	43	83,34	0	49
22	49	20,08	63,25999	50
	50	7,08	56,18	53
	53	12,78	43,4	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			1833,48	
Time needed (sum task)			1424,24	
Idle time (allocated-needed)			409,2401	
Efficiency (needed/allocated)			77,6796	
Balance Delay (1-efficiency)			22,3204	
Min (theoretical) # of stations			18	

### Menor Número de Tarefas Sucessoras \_ m\_NTS

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	52	18,23	65,11	1, 8, 11, 13, 32, 33
	32	24,85	40,25999	1, 8, 11, 13, 33, 34
	33	24,85	15,41	1, 8, 11, 13, 34, 35
	8	7,89	7,519997	1, 11, 13, 34, 35, 9
	1	4,43	3,089996	11, 13, 34, 35, 9, 2, 27, 51
2	51	8,16	75,17999	11, 13, 34, 35, 9, 2, 27
	34	53,43	21,75	11, 13, 35, 9, 2, 27, 36
	27	6,71	15,03999	11, 13, 35, 9, 2, 36, 28
	28	12,61	2,429993	11, 13, 35, 9, 2, 36, 29
3	36	30,24	53,1	11, 13, 35, 9, 2, 29, 38
	38	39,93	13,17	11, 13, 35, 9, 2, 29
	29	12,96	0,2099991	11, 13, 35, 9, 2, 30
4	30	15,9	67,43999	11, 13, 35, 9, 2
	35	53,43	14,00999	11, 13, 9, 2, 37
5	37	53,09	30,25	11, 13, 9, 2, 39
	9	22,36	7,889999	11, 13, 2, 39
6	39	33,23	50,11	11, 13, 2, 40
	40	33,51	16,6	11, 13, 2
7	13	34,94	48,4	11, 2
8	11	56,63	26,71	2, 12
	12	18,73	7,979996	2, 14
9	14	30,39	52,95	2, 15
	15	33,64	19,31	2, 16
	16	15,58	3,729996	2, 17
10	17	51,62	31,72	2
11	2	62,57	20,77	3, 4, 5
	3	19,68	1,089996	4, 5
12	4	7,92	75,42	5, 6
	6	5,85	69,56999	5, 7
	7	30,92	38,64999	5
13	5	47,77	35,57	10, 22
	22	3,63	31,93999	10, 23
	23	10,58	21,35999	10, 24, 48
	24	4,66	16,7	10, 48
14	48	29,18	54,16	10
	10	28,27	25,89	18
	18	22,86	3,029999	19, 20, 25, 31, 41
15	20	12,87	70,46999	19, 25, 31, 41
	25	23,6	46,87	19, 31, 41
	41	8,84	38,02999	19, 31
	31	14,87	23,16	19, 42
	42	18,4	4,759995	19
16	19	46,81	3,65E+01	21, 26, 44, 45
	21	29,77	6,759995	26, 44, 45
17	26	7,63	75,71	44, 45, 43
	44	13,84	61,87	45, 43, 46
	45	13,84	48,02999	43, 46, 47
18	43	83,34	0	46, 47
19	46	64,38	18,96	47
20	47	74,88	8,459999	49
21	49	20,08	63,25999	50
	50	7,08	56,18	53
	53	12,78	43,4	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			1750,14	
Time needed (sum task)			1424,24	
Idle time (allocated-needed)			325,9	
Efficiency (needed/allocated)			81,37863	
Balance Delay (1-efficiency)			18,62137	
Min (theoretical) # of stations			18	

# ***Anexo IX***

---



	ANT 1	ANT 2	ANT 3	ANT 4	ANT 5
Estação	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Tarefa Alocada	32;33;52;	8;13;33;	8;13;32;	1;8;11;	1;13;27;33;
Tempo de Permanência	67.9;	67.7;	67.7;	68.8;	70.9;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Tarefa Alocada	1;2;	1;9;32;52;	1;2;	13;27;51;52;	2;8;
Tempo de Permanência	66.0;	69.9;	67.0;	68.0;	70.5;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Tarefa Alocada	8;27;35;	27;34;51;	11;27;51;	9;12;14;	9;28;32;51;
Tempo de Permanência	68.0;	68.3;	71.4;	71.5;	68.0;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
Tarefa Alocada	4;6;37;	36;38;	28;34;	2;4;	4;6;34;
Tempo de Permanência	66.9;	70.2;	66.0;	70.5;	67.2;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
Tarefa Alocada	39;40;	28;35;	9;33;52;	6;15;33;	11;29;
Tempo de Permanência	66.7;	66.0;	65.4;	64.3;	69.5;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
Tarefa Alocada	11;51;	11;29;	4;12;29;36;	5;16;22;	12;36;52;
Tempo de Permanência	64.7;	69.5;	69.8;	67.0;	67.2;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
Tarefa Alocada	12;13;28;	12;14;30;	14;38;	28;35;	14;15;
Tempo de Permanência	66.3;	65.0;	70.3;	66.0;	64.0;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
Tarefa Alocada	29;34;	2;4;	5;6;30;	7;29;32;	5;16;22;
Tempo de Permanência	66.4;	70.5;	69.5;	68.7;	67.0;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
Tarefa Alocada	36;38;	5;6;22;23;	22;23;35;	17;23;24;	23;24;35;
Tempo de Permanência	70.2;	67.8;	67.6;	66.9;	68.7;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
Tarefa Alocada	5;9;	6;23;47;	7;24;48;	10;18;30;	17;30;
Tempo de Permanência	70.1;	64.8;	64.8;	67.0;	67.5;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
Tarefa Alocada	14;15;22;	10;15;	10;15;	31;37;	7;48;
Tempo de Permanência	67.7;	61.9;	61.9;	68.0;	60.1;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
Tarefa Alocada	5;9;	16;17;	16;17;	19;25;	10;38;
Tempo de Permanência	67.2;	67.2;	67.2;	70.4;	68.2;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
Tarefa Alocada	7;23;24;30;	18;25;31;41;	18;20;25;41;	36;39;48;	18;19;
Tempo de Permanência	62.1;	70.2;	68.2;	70.0;	69.7;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>
Tarefa Alocada	10;18;31;	20;37;	19;26;31;	20;34;	31;37;
Tempo de Permanência	66.0;	66.0;	69.3;	66.3;	68.0;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Tarefa Alocada	19;42;	39;40;	37;44;	36;40;	25;39;41;
Tempo de Permanência	65.2;	66.7;	66.9;	63.8;	65.7;
Posto de Trabalho	1	1	1	1	1
Estação	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
Tarefa Alocada	25;26;41;44;45;47;	19;42;	46;	38;41;42;	20;26;40;44;
Tempo de Permanência	142.6;	65.2;	64.4;	67.2;	67.8;
Posto de Trabalho	2	1	1	1	1
Estação	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>
Tarefa Alocada	20;21;48;	21;26;44;45;47;	21;39;	21;43;44;45;	21;42;45;47;
Tempo de Permanência	71.8;	140.0;	63.0;	140.8;	136.9;
Posto de Trabalho	1	2	1	2	2
Estação	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
Tarefa Alocada	46;	46;	40;42;45;47;	46;47;	46;
Tempo de Permanência	64.4;	64.4;	140.6;	139.3;	64.4;
Posto de Trabalho	1	1	2	2	1
Estação	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>
Tarefa Alocada	3;43;49;50;53;	3;43;49;50;53;	3;43;49;50;53;	3;49;50;53;	3;43;49;50;53;
Tempo de Permanência	143.0;	143.0;	143.0;	59.6;	143.0;
Posto de Trabalho	2	2	2	1	2
Total de PT	21	21	21	21	21
Eficiência da Linha	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94

	SA 1	SA 2	SA 3	SA 4	SA 5
Estação	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Tarefa Alocada	11;1;	11;	11;	11;	11;8;
Tempo de Permanência	61.0;	56.5;	56.5;	56.5;	64.4;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Tarefa Alocada	2;	13;12;		2;1;	2;1;
Tempo de Permanência	62.6;	53.7;	-0.0;	67.0;	67.0;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0
Estação	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Tarefa Alocada		2;1;	33;13;	5;12;	
Tempo de Permanência	-0.0;	67.0;	59.8;	66.5;	-0.0;
Posto de Trabalho	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0
Estação	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
Tarefa Alocada	13;33;		2;1;		13;33;
Tempo de Permanência	59.8;	-0.0;	67.0;	-0.0;	59.8;
Posto de Trabalho	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
Estação	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
Tarefa Alocada	12;5;	15;14;8;	3;12;14;	14;13;	12;5;
Tempo de Permanência	66.5;	71.9;	68.8;	65.3;	66.5;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
Tarefa Alocada	15;14;4;	17;16;	15;32;8;	9;15;8;4;	15;14;4;
Tempo de Permanência	71.9;	67.2;	66.4;	71.8;	71.9;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
Tarefa Alocada	17;16;	5;9;	35;4;6;	17;16;	17;16;
Tempo de Permanência	67.2;	70.1;	67.2;	67.2;	67.2;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
Tarefa Alocada	32;7;6;	32;4;7;6;	5;9;	7;32;6;27;	7;9;6;51;
Tempo de Permanência	61.6;	69.5;	70.1;	68.3;	67.3;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
Tarefa Alocada	10;9;27;8;	18;10;51;27;	10;7;27;	10;18;28;	10;18;27;
Tempo de Permanência	65.2;	66.0;	65.9;	63.7;	57.8;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
Tarefa Alocada	19;18;	19;33;	34;16;	34;29;	35;20;
Tempo de Permanência	69.7;	71.7;	69.0;	66.4;	66.3;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
Tarefa Alocada	34;31;	35;28;22;	17;52;	19;33;	19;32;
Tempo de Permanência	68.3;	69.7;	69.9;	71.7;	71.7;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
Tarefa Alocada	35;52;	34;29;	18;19;	35;23;22;	37;28;
Tempo de Permanência	71.7;	66.4;	69.7;	67.6;	65.7;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
Tarefa Alocada	37;28;	37;31;	37;20;22;	37;31;	34;31;
Tempo de Permanência	65.7;	68.0;	69.6;	68.0;	68.3;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>
Tarefa Alocada	38;36;	38;36;	38;36;	39;48;	39;52;3;
Tempo de Permanência	70.2;	70.2;	70.2;	62.4;	71.1;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Tarefa Alocada	25;39;26;	39;52;30;	39;25;28;	3;42;40;	38;36;
Tempo de Permanência	64.5;	67.4;	69.4;	71.6;	70.2;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
Tarefa Alocada	40;41;29;20;22;	40;44;41;23;	40;26;31;41;	38;36;	21;29;30;41;22;
Tempo de Permanência	71.8;	66.8;	64.8;	70.2;	71.1;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>
Tarefa Alocada	44;21;23;30;	25;42;48;	44;30;42;29;23;	44;20;45;41;30;	44;40;25;
Tempo de Permanência	70.1;	71.2;	71.7;	65.3;	71.0;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
Tarefa Alocada	46;24;	46;	46;	46;47;24;	46;
Tempo de Permanência	69.0;	64.4;	64.4;	143.9;	64.4;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0
Estação	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>
Tarefa Alocada	45;3;42;43;51;	21;45;20;47;26;24;	48;21;43;	21;52;25;	45;42;43;23;24;26;
Tempo de Permanência	143.4;	143.6;	142.3;	71.6;	138.4;
Posto de Trabalho	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0
Estação	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Tarefa Alocada	53;50;49;48;47;	53;50;49;3;43;	53;50;49;51;47;45;24;	53;50;49;43;51;26;	53;50;49;48;47;
Tempo de Permanência	144.0;	143.0;	141.5;	139.1;	144.0;
Posto de Trabalho	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Total de PT	21	21	21	21	21
Eficiência da Linha	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94

	GA 1	GA 2	GA 3	GA 4	GA 5
Estação	1	1	1	1	1
Tarefa Alocada	1;2;	1;8;11;	1;2;	1;2;	1;8;11;
Tempo de Permanência	67.0;	68.8;	67.0;	67.0;	68.8;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	2	2	2	2	2
Tarefa Alocada	8;11;27;	13;33;51;	11;27;51;	8;11;27;	2;27;
Tempo de Permanência	71.1;	68.0;	71.4;	71.1;	69.3;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	3	3	3	3	3
Tarefa Alocada	5;12;22;	2;4;	4;13;33;	5;12;22;	4;13;32;
Tempo de Permanência	70.1;	70.5;	67.7;	70.1;	67.7;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	4	4	4	4	4
Tarefa Alocada	13;14;	5;12;22;	5;12;22;	13;14;	5;12;22;
Tempo de Permanência	65.3;	70.1;	70.1;	65.3;	70.1;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	5	5	5	5	5
Tarefa Alocada	4;15;33;	6;9;14;27;	6;14;15;	4;6;9;15;	14;15;
Tempo de Permanência	66.4;	65.3;	69.9;	69.8;	64.0;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	6	6	6	6	6
Tarefa Alocada	6;9;16;32;	7;15;	3;8;9;16;	16;17;	16;34;
Tempo de Permanência	68.6;	64.6;	65.5;	67.2;	69.0;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	7	7	7	7	7
Tarefa Alocada	7;10;51;	16;23;32;52;	7;28;32;	7;28;33;	6;17;28;
Tempo de Permanência	67.3;	69.2;	68.4;	68.4;	70.1;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	8	8	8	8	8
Tarefa Alocada	28;35;	17;24;28;	17;52;	10;29;32;	7;9;29;
Tempo de Permanência	66.0;	68.9;	69.8;	66.1;	66.2;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	9	9	9	9	9
Tarefa Alocada	29;34;	29;34;	10;18;31;	18;19;	10;23;51;52;
Tempo de Permanência	66.4;	66.4;	66.0;	69.7;	65.2;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	10	10	10	10	10
Tarefa Alocada	17;30;	30;35;	29;35;	30;34;	18;30;33;
Tempo de Permanência	67.5;	69.3;	66.4;	69.3;	63.6;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	11	11	11	11	11
Tarefa Alocada	18;23;24;36;	10;18;20;	19;30;	35;51;	19;25;
Tempo de Permanência	68.3;	64.0;	62.7;	61.6;	70.4;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	12	12	12	12	12
Tarefa Alocada	19;20;	3;19;	23;24;37;	23;24;37;	26;35;
Tempo de Permanência	59.7;	66.5;	68.3;	68.3;	61.1;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	13	13	13	13	13
Tarefa Alocada	31;37;	31;37;	20;34;	38;36;	31;37;
Tempo de Permanência	68.0;	68.0;	66.3;	70.2;	68.0;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	14	14	14	14	14
Tarefa Alocada	21;38;	39;36;	36;39;	25;26;31;52;	24;36;39;
Tempo de Permanência	69.7;	63.5;	63.5;	64.3;	68.1;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	15	15	15	15	15
Tarefa Alocada	25;26;39;	21;38;	25;26;40;		20;40;42;
Tempo de Permanência	64.5;	69.7;	64.7;	0.0;	64.8;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0
Estação	16	16	16	16	16
Tarefa Alocada	40;42;52;	40;41;25;	21;38;	39;40;	21;38;
Tempo de Permanência	70.1;	65.9;	69.7;	66.7;	69.7;
Posto de Trabalho	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Estação	17	17	17	17	17
Tarefa Alocada		26;42;43;44;45;	41;42;43;44;45;	3;41;42;45;47;	3;41;43;44;45;
Tempo de Permanência	0.0;	137.1;	138.3;	135.6;	139.5;
Posto de Trabalho	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Estação	18	18	18	18	18
Tarefa Alocada	41;43;44;45;3;	46;47;		20;21;43;44;	46;47;
Tempo de Permanência	139.5;	139.3;	0.0;	139.8;	139.3;
Posto de Trabalho	2.0	2.0	0.0	2.0	2.0
Estação	19	19	19	19	19
Tarefa Alocada	46;47;	48;49;50;53;	46;47;	46;	48;49;50;53;
Tempo de Permanência	139.3;	69.1;	139.3;	64.4;	69.1;
Posto de Trabalho	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0
Estação	20	20	20	20	20
Tarefa Alocada	49;50;53;48;		48;49;50;53;	48;49;50;53;	
Tempo de Permanência	69.1;	0.0;	69.1;	69.1;	0.0;
Posto de Trabalho	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0
Total de PT	21	21	21	21	21
Eficiência da Linha	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94

# ***Anexo X***

---

### Cenário eleito\_ANT

		Estação	Tarefa Alocada	Tempo Afectado (s)	PT	Tempo Inactivo (s)
Cenário Eleito _ ANT		1	1,8,11	68,80	1	3,20
		2	13,27,51,52	68,00	1	4,00
		3	9,12,14	71,50	1	0,50
		4	2,4	70,50	1	1,50
		5	6,15,33	64,30	1	7,70
		6	5,16,22	67,00	1	5,00
		7	28,35	66,00	1	6,00
		8	7,29,32	68,70	1	3,30
		9	17,23,24	66,90	1	5,10
		10	10,18,30	67,00	1	5,00
		11	31,37	68,00	1	4,00
		12	19,25	70,04	1	1,96
		13	26,39,48	70,00	1	2,00
		14	20,34	66,30	1	5,70
		15	36,40	63,80	1	8,20
		16	38,41,42	67,20	1	4,80
		17	21,43,44,45	140,80	2	3,20
		18	45,46	139,30	2	4,70
		19	3,49,50,53	59,60	1	12,40
				$\sum = 1423,74(s)$		$\sum = 88,26(s)$

# ***Anexo XI***

---

Postos Físicos da Linha em “U”

		Estação	Tarefa Alocada	Tempo Afectado (s)	PT
Postos Físicos da Linha em “U”		1	8,9,13,52	83,40	1
		2	11,33	81,40	1
		3	1,32,35	82,70	1
		4	2,12	81,30	1
		5	4,6,27,34,51	82,10	1
		6	36,37	83,30	1
		7	14,28,38	82,90	1
		8	7,29,39	77,10	1
		9	15,30,40	83,00	1
		10	5,16,22,23,24	82,20	1
		11	10,17	79,90	1
		12	18,25,48	75,60	1
		13	19,20,31,41	83,40	1
		14	21,26,42,43	69,60	1
		15	45,46	78,20	1
		16	43	83,30	1
		17	47	74,90	1
		18	3,49,50,53	59,60	1
				$\Sigma = 1340,90(s)$	

### Linha em “U” \_ P=200 bicicletas

		Tarefa Alocada
PT		
Linha em “U” _ P=200 bicicletas	1	3,8,9,13,49,50,52,53
	2	1,11,32,33
	3	35,47
	4	2,4,6,12,27,51
	5	34,43
	6	26,42,44,45,46
	7	14,21,36,37
	8	19,28,29,31,38,41
	9	20,30,39,40
	10	5,15,16,22,23,24,25
	11	10,17,18,48

### Linha em “U” \_ P=300 bicicletas

		Tarefa Alocada
PT		
Linha em “U” _ P=300 bicicletas	1	8,9,13,52
	2	1,11,33
	3	32,35,53
	4	2,3,50
	5	47,48
	6	4,12,27,34,51
	7	6,36,37
	8	28,43
	9	14,29,38
	10	7,30,39,45
	11	26,44,46
	12	21,40,41,42
	13	15,19,31
	14	5,16,20,22,23,24
	15	17,48
	16	10,18,25



**Linha em “U” \_ P=345 bicicletas**

		Tarefa Alocada
PT		
Linha em “U” _ P=345 bicicletas	1	8,9,13,52
	2	11,33
	3	1,3,49,50,53
	4	32,35
	5	2,12
	6	4,6,27,34,51
	7	47
	8	36,37
	9	14,28,38
	10	7,29,39
	11	15,30,40
	12	5,16,22,23,24
	13	10,17
	14	18,25,48
	15	19,20,31,41
	16	43
	17	21,26,42,44
	18	45,46

# ***Anexo XII***

---

## Problema Principal

Novo ID	Tarefa	Actividade ou Descrição das Tarefas	Precedências			Tempos
1	1	Abrir a Caixa de Cartão				4,43
2	2	Retirar o Papel do Quadro e Colocá-lo no Carrinho	1			62,57
3	3	Arrumar Caixa de Cartão	2			19,68
4	4	Tirar Quadro do Carrinho e Aplicar Caixa de Direcção na máquina	2			7,92
5	5	Aplicar Movimento Central	2			47,77
6	6	Colocar o Conjunto na Árvore de Suporte	4			5,85
7	7	Aplicar a grade e o Bidão da Água	6			30,92
8	8	Tirar plástico da forqueta e tampas para aplicar travão da frente				7,89
9	9	Aplicar a borboleta na forqueta	8			22,36
10	10	Posicionar Forqueta e Anilhas e Juntar ao Quadro	5	7	9	28,27
11	18	Apertar Guiador Completo	8			22,86
12	19	Engatar Cabos nos Passadores	11			46,81
13	20	Aplicar a Mudança de Trás	11			12,87
14	21	Fixar Cabo da Mudança de Trás	12	13		29,77
15	22	Posicionar o Crenco e a Pedaleira	5			3,63
16	23	Apertar o Crenco e a Pedaleira	15			10,58
17	24	Colocar as Tampas no Centro Pedaleiro	16			4,66
18	25	Aplicar a Mudança da Frente ou Desviador da Corrente	11			23,6
19	26	Fixar Cabo da Mudança da Frente	12	18		7,63
20	27	Tirar tampas do quadro para aplicar travão de trás	1			6,71
21	28	Pôr Massa no Espigão dos Travões	8	20		12,61
22	29	Posicionar os travões no quadro e na forqueta	21			12,96
23	30	Apertar os travões no quadro e na forqueta	22			15,9
24	31	Cravar a Corrente	11			14,87
25	41	Aplicar Roda da Frente	11			8,84
26	42	Aplicar Roda de Trás e Encaixar a Corrente	11	16	24	18,4
27	43	Afinar Mudanças	12	14	19	83,34
28	44	Apertar Cabo do Travão da Frente	12	23	25	13,84
29	45	Apertar Cabo do Travão de Trás	12	23	26	13,84
30	46	Afinar Travão da Frente	28			64,38
31	47	Afinar Travão de Trás	29			74,88
32	48	Aplicar os Pedais _ Par	16			29,18
33	49	Aparar Cabos e aplicar os Terminais	27	30	31	20,08
34	51	Fixar no Quadro a Blocagem Rápida do Selim	1			8,16

### Guiador

Novo ID	Tarefa	Actividade ou Descrição das Tarefas	Precedências			Tempos
1	11	Preparar as Hastes e os Espigões dos Guiadores				56,53
2	12	Apertar Espigão na Haste	1			18,73
3	13	Preparar Manetes, Grifos e Punhos				34,94
4	14	Colocar Manetes, Grifos e Punhos	2	3		30,39
5	15	Apertar Grifos e Manetes	4			33,64
6	16	Aplicar Cabos de Travões	5			15,58
7	17	Aplicar Espirais	6			51,62

### Rodas

Novo ID	Tarefa	Actividade ou Descrição das Tarefas	Precedências			Tempos
1	32	Colocar a Fita no Aro _ Roda da Frente				24,85
2	33	Colocar a Fita no Aro _ Roda de Trás				24,85
3	34	Agrupar Pneu e Câmara ao Aro _ Roda da Frente	1			53,43
4	35	Agrupar Pneu e Câmara ao Aro _ Roda de Trás	2			53,43
5	36	Encaixar o Pneu no Aro, com Auxílio da Máquina _ Roda da Frente	3			30,24
6	37	Encaixar o Pneu no Aro, com Auxílio da Máquina _ Roda de Trás	4			53,09
7	38	Ar, Aperto Rápido e Carapuça _ Roda da Frente	5			39,93
8	39	Ar, Porcas e Carapuça _ Roda de Trás	6			33,23
9	40	Aplicar Carreto, Disco e Porcas _ Roda de Trás	8			33,51

### Assento

Novo ID	Tarefa	Actividade ou Descrição das Tarefas	Precedências			Tempos
1	50	Retirar Bicicleta da Linha				56,53
2	52	Posicionar e Apertar o Espigão ao Selim				18,73
3	53	Apertar Selim no Quadro	1	2		34,94

# ***Anexo XIII***

---

### Maior Tempo de Processamento \_ MTP \_ Problema Principal

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	8	7,89	75,45	1, 9, 11
	11	22,86	52,59	1, 9, 12, 13, 18, 24, 25
	12	46,81	5,779999	1, 9, 13, 18, 24, 25
	1	4,43	1,349998	9, 13, 18, 24, 25, 2, 20, 34
2	2	62,57	20,77	9, 13, 18, 24, 25, 20, 34, 3, 4, 5
	3	19,68	1,089996	9, 13, 18, 24, 25, 20, 34, 4, 5
3	5	47,77	35,57	9, 13, 18, 24, 25, 20, 34, 4, 15
	18	23,6	11,96999	9, 13, 24, 25, 20, 34, 4, 15, 19
	25	8,84	3,12999	9, 13, 24, 20, 34, 4, 15, 19
4	9	22,36	60,98	13, 24, 20, 34, 4, 15, 19
	24	14,87	46,11	13, 20, 34, 4, 15, 19
	13	12,87	33,24	20, 34, 4, 15, 19, 14
	14	29,77	3,470001	20, 34, 4, 15, 19
5	34	8,16	75,17999	20, 4, 15, 19
	4	7,92	67,25999	20, 15, 19, 6
	19	7,63	59,63	20, 15, 6, 27
	20	6,71	52,92	15, 6, 27, 21
	21	12,61	40,31	15, 6, 27, 22
	22	12,96	27,35	15, 6, 27, 23
	23	15,9	11,45	15, 6, 27, 28
	6	5,85	5,599998	15, 27, 28, 7
	15	3,63	1,970001	27, 28, 7, 16
6	27	83,34	0	28, 7, 16
7	7	30,92	52,42	28, 16, 10
	10	28,27	24,14999	28, 16
	28	13,84	10,31	16, 30
8	30	64,38	18,96	16
	16	10,58	8,379997	17, 26, 32
	17	4,66	3,720001	26, 32
9	32	29,18	54,16	26
	26	18,4	35,75999	29
	29	13,84	21,91999	31
10	31	74,88	8,459999	33
11	33	20,08	63,25999	
<b>Summary Statistics</b>				
	Cycle time		83,34	
	Time allocated (cyc*sta)		916,74	
	Time needed (sum task)		798,06	
	Idle time (allocated-needed)		118,68	
	Efficiency (needed/allocated)		87,05413	
	Balance Delay (1-efficiency)		12,94587	
	Min (theoretical) # of stations		10	

### Maior Número de Tarefas Sucessoras \_ MNTS\_Problema Principal

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	4,43	78,91	8, 2, 20, 34
	8	7,89	71,02	2, 20, 34, 9, 11
	2	62,57	8,449997	20, 34, 9, 11, 3, 4, 5
	20	6,71	1,739998	34, 9, 11, 3, 4, 5, 21
2	11	22,86	60,48	34, 9, 3, 4, 5, 21, 12, 13, 18, 24, 25
	5	47,77	12,70999	34, 9, 3, 4, 21, 12, 13, 18, 24, 25, 15
	21	12,61	1,00E-01	34, 9, 3, 4, 12, 13, 18, 24, 25, 15, 22
3	12	46,81	36,52999	34, 9, 3, 4, 13, 18, 24, 25, 15, 22
	15	3,63	32,89999	34, 9, 3, 4, 13, 18, 24, 25, 22, 16
	22	12,96	19,93999	34, 9, 3, 4, 13, 18, 24, 25, 16, 23
	16	10,58	9,359993	34, 9, 3, 4, 13, 18, 24, 25, 23, 17, 32
	4	7,92	1,439995	34, 9, 3, 13, 18, 24, 25, 23, 17, 32, 6
4	23	15,9	67,43999	34, 9, 3, 13, 18, 24, 25, 17, 32, 6
	24	14,87	52,57	34, 9, 3, 13, 18, 25, 17, 32, 6, 26
	13	12,87	39,7	34, 9, 3, 18, 25, 17, 32, 6, 26, 14
	18	23,6	16,1	34, 9, 3, 25, 17, 32, 6, 26, 14, 19
	25	8,84	7,259995	34, 9, 3, 17, 32, 6, 26, 14, 19, 28
	6	5,85	1,409996	34, 9, 3, 17, 32, 26, 14, 19, 28, 7
5	26	18,4	64,93999	34, 9, 3, 17, 32, 14, 19, 28, 7, 29
	14	29,77	35,17	34, 9, 3, 17, 32, 19, 28, 7, 29
	19	7,63	27,54	34, 9, 3, 17, 32, 28, 7, 29, 27
	28	13,84	13,7	34, 9, 3, 17, 32, 7, 29, 27, 30
	34	8,16	5,539993	9, 3, 17, 32, 7, 29, 27, 30
	17	4,66	0,8799896	9, 3, 32, 7, 29, 27, 30
6	29	13,84	69,5	9, 3, 32, 7, 27, 30, 31
	9	22,36	47,14	3, 32, 7, 27, 30, 31
	7	30,92	16,21999	3, 32, 27, 30, 31, 10
7	27	83,34	0	3, 32, 30, 31, 10
8	30	64,38	18,96	3, 32, 31, 10
9	31	74,88	8,459999	3, 32, 10, 33
10	3	19,68	63,66	32, 10, 33
	32	29,18	34,48	10, 33
	10	28,27	6,209991	33
11	33	20,08	63,25999	
<b>Summary Statistics</b>				
	Cycle time		83,34	
	Time allocated (cyc*sta)		916,74	
	Time needed (sum task)		798,06	
	Idle time (allocated-needed)		118,68	
	Efficiency (needed/allocated)		87,05413	
	Balance Delay (1-efficiency)		12,94587	
	Min (theoretical) # of stations		10	

### Maior Peso Posicional \_ MPP \_ Problema Principal

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	8	7,89	75,45	1, 9, 11
	1	4,43	71,02	9, 11, 2, 20, 34
	11	22,86	48,16	9, 2, 20, 34, 12, 13, 18, 24, 25
	12	46,81	1,349991	9, 2, 20, 34, 13, 18, 24, 25
2	2	62,57	20,77	9, 20, 34, 13, 18, 24, 25, 3, 4, 5
	20	6,71	14,06	9, 34, 13, 18, 24, 25, 3, 4, 5, 21
	21	12,61	1,449997	9, 34, 13, 18, 24, 25, 3, 4, 5, 22
3	5	47,77	35,57	9, 34, 13, 18, 24, 25, 3, 4, 22, 15
	22	12,96	22,61	9, 34, 13, 18, 24, 25, 3, 4, 15, 23
	23	15,9	6,709999	9, 34, 13, 18, 24, 25, 3, 4, 15
	15	3,63	3,080002	9, 34, 13, 18, 24, 25, 3, 4, 16
4	16	10,58	72,75999	9, 34, 13, 18, 24, 25, 3, 4, 17, 32
	13	12,87	59,89	9, 34, 18, 24, 25, 3, 4, 17, 32, 14
	24	14,87	45,02	9, 34, 18, 25, 3, 4, 17, 32, 14, 26
	18	23,6	21,42	9, 34, 25, 3, 4, 17, 32, 14, 26, 19
	26	18,4	3,019997	9, 34, 25, 3, 4, 17, 32, 14, 19, 29
5	14	29,77	53,57	9, 34, 25, 3, 4, 17, 32, 19, 29
	19	7,63	45,93999	9, 34, 25, 3, 4, 17, 32, 29, 27
	29	13,84	32,09999	9, 34, 25, 3, 4, 17, 32, 27, 31
	25	8,84	23,25999	9, 34, 3, 4, 17, 32, 27, 31, 28
	28	13,84	9,419998	9, 34, 3, 4, 17, 32, 27, 31, 30
	4	7,92	1,5	9, 34, 3, 17, 32, 27, 31, 30, 6
6	27	83,34	0	9, 34, 3, 17, 32, 31, 30, 6
7	31	74,88	8,459999	9, 34, 3, 17, 32, 30, 6
	6	5,85	2,610001	9, 34, 3, 17, 32, 30, 7
8	30	64,38	18,96	9, 34, 3, 17, 32, 7, 33
	34	8,16	10,8	9, 3, 17, 32, 7, 33
	17	4,66	6,139999	9, 3, 32, 7, 33
9	7	30,92	52,42	9, 3, 32, 33
	9	22,36	30,06	3, 32, 33, 10
	32	29,18	0,8799973	3, 33, 10
10	10	28,27	55,07	3, 33
	33	20,08	34,99	3
	3	19,68	15,31	
<b>Summary Statistics</b>				
	Cycle time		83,34	
	Time allocated (cyc*sta)		833,4	
	Time needed (sum task)		798,06	
	Idle time (allocated-needed)		35,33997	
	Efficiency (needed/allocated)		95,75954	
	Balance Delay (1-efficiency)		4,240457	
	Min (theoretical) # of stations		10	



### Menor Tempo de Processamento m \_ TP \_ Problema Principal

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	4,43	78,91	8, 2, 20, 34
	20	6,71	72,2	8, 2, 34
	8	7,89	64,31	2, 34, 9, 11, 21
	34	8,16	56,15	2, 9, 11, 21
	21	12,61	43,54	2, 9, 11, 22
	22	12,96	30,58	2, 9, 11, 23
	23	15,9	14,68	2, 9, 11
2	9	22,36	60,98	2, 11
	11	22,86	38,12	2, 12, 13, 18, 24, 25
	25	8,84	29,27999	2, 12, 13, 18, 24
	13	12,87	16,41	2, 12, 18, 24
	24	14,87	1,539993	2, 12, 18
3	18	23,6	59,74	2, 12
	12	46,81	12,92999	2, 14, 19, 28
	19	7,63	5,299995	2, 14, 28
4	28	13,84	69,5	2, 14, 30
	14	29,77	39,73	2, 30, 27
5	2	62,57	20,77	30, 27, 3, 4, 5
	4	7,92	12,85	30, 27, 3, 5, 6
	6	5,85	7	30, 27, 3, 5, 7
6	3	19,68	63,66	30, 27, 5, 7
	7	30,92	32,74	30, 27, 5
7	5	47,77	35,57	30, 27, 10, 15
	15	3,63	31,93999	30, 27, 10, 16
	16	10,58	21,35999	30, 27, 10, 17, 26, 32
	17	4,66	16,7	30, 27, 10, 26, 32
8	26	18,4	64,93999	30, 27, 10, 32, 29
	29	13,84	51,1	30, 27, 10, 32, 31
	10	28,27	22,83	30, 27, 32, 31
9	32	29,18	54,16	30, 27, 31
10	30	64,38	18,96	27, 31
11	31	74,88	8,459999	27
12	27	83,34	0	33
13	33	20,08	63,25999	
<b>Summary Statistics</b>				
	Cycle time		83,34	
	Time allocated (cyc*sta)		1083,42	
	Time needed (sum task)		798,06	
	Idle time (allocated-needed)		285,3599	
	Efficiency (needed/allocated)		73,66119	
	Balance Delay (1-efficiency)		26,33881	
	Min (theoretical) # of stations		10	

### Menor Número de Tarefas Sucessoras m \_ NTS \_ Problema Principal

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	8	7,89	75,45	1, 9, 11
	9	22,36	53,09	1, 11
	11	22,86	30,23	1, 12, 13, 18, 24, 25
	13	12,87	17,35999	1, 12, 18, 24, 25
	25	8,84	8,519989	1, 12, 18, 24
	1	4,43	4,089989	12, 18, 24, 2, 20, 34
2	34	8,16	75,17999	12, 18, 24, 2, 20
	18	23,6	51,57999	12, 24, 2, 20
	24	14,87	36,71	12, 2, 20
	20	6,71	30	12, 2, 21
	21	12,61	17,39	12, 2, 22
	22	12,96	4,43	12, 2, 23
3	23	15,9	67,43999	12, 2
	12	46,81	20,63	2, 14, 19, 28
	19	7,63	13	2, 14, 28
4	14	29,77	53,57	2, 28, 27
	28	13,84	39,73	2, 27, 30
5	27	83,34	0	2, 30
6	30	64,38	18,96	2
7	2	62,57	20,77	3, 4, 5
	3	19,68	1,089996	4, 5
8	4	7,92	75,42	5, 6
	6	5,85	69,56999	5, 7
	7	30,92	38,64999	5
9	5	47,77	35,57	10, 15
	10	28,27	7,299995	15
	15	3,63	3,669998	16
10	16	10,58	72,75999	17, 26, 32
	17	4,66	68,1	26, 32
	32	29,18	38,92	26
	26	18,4	20,52	29
	29	13,84	6,679993	31
11	31	74,88	8,459999	33
12	33	20,08	63,25999	
<b>Summary Statistics</b>				
	Cycle time		83,34	
	Time allocated (cyc*sta)		1000,08	
	Time needed (sum task)		798,06	
	Idle time (allocated-needed)		202,02	
	Efficiency (needed/allocated)		79,79962	
	Balance Delay (1-efficiency)		20,20038	
	Min (theoretical) # of stations		10	

### Maior Tempo de Processamento \_ Guiador

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	56,53	26,81	3, 2
	2	18,73	8,080002	3
2	3	34,94	48,4	4
	4	30,39	18,00999	5
3	5	33,64	49,7	6
	6	15,58	34,12	7
4	7	51,62	31,72	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			333,36	
Time needed (sum task)			241,43	
Idle time (allocated-needed)			91,92999	
Efficiency (needed/allocated)			72,42321	
Balance Delay (1-efficiency)			27,57679	
Min (theoretical) # of stations			3	

### Maior número de tarefas sucessoras \_ Guiador

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	56,53	26,81	3, 2
	2	18,73	8,080002	3
2	3	34,94	48,4	4
	4	30,39	18,00999	5
3	5	33,64	49,7	6
	6	15,58	34,12	7
4	7	51,62	31,72	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			333,36	
Time needed (sum task)			241,43	
Idle time (allocated-needed)			91,92999	
Efficiency (needed/allocated)			72,42321	
Balance Delay (1-efficiency)			27,57679	
Min (theoretical) # of stations			3	

### Maior Peso Posicional \_ Guiador

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	56,53	26,81	3, 2
	2	18,73	8,080002	3
2	3	34,94	48,4	4
	4	30,39	18,00999	5
3	5	33,64	49,7	6
	6	15,58	34,12	7
4	7	51,62	31,72	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time		83,34		
Time allocated (cyc*sta)		333,36		
Time needed (sum task)		241,43		
Idle time (allocated-needed)		91,92999		
Efficiency (needed/allocated)		72,42321		
Balance Delay (1-efficiency)		27,57679		
Min (theoretical) # of stations		3		

### Menor Tempo de Processamento \_ Guiador

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	3	34,94	48,4	1
2	1	56,53	26,81	2
	2	18,73	8,080002	4
3	4	30,39	52,95	5
	5	33,64	19,31	6
	6	15,58	3,729996	7
4	7	51,62	31,72	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time		83,34		
Time allocated (cyc*sta)		333,36		
Time needed (sum task)		241,43		
Idle time (allocated-needed)		91,92999		
Efficiency (needed/allocated)		72,42321		
Balance Delay (1-efficiency)		27,57679		
Min (theoretical) # of stations		3		

### Menor Número de Tarefas Sucessoras\_ Guiador

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	3	34,94	48,4	1
2	1	56,53	26,81	2
	2	18,73	8,080002	4
3	4	30,39	52,95	5
	5	33,64	19,31	6
	6	15,58	3,729996	7
4	7	51,62	31,72	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			333,36	
Time needed (sum task)			241,43	
Idle time (allocated-needed)			91,92999	
Efficiency (needed/allocated)			72,42321	
Balance Delay (1-efficiency)			27,57679	
Min (theoretical) # of stations			3	

### Maior Tempo de Processamento \_ Rodas

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	24,85	58,49	2, 3
	3	53,43	5,059998	2, 5
2	5	30,24	53,1	2, 7
	7	39,93	13,17	2
3	2	24,85	58,49	4
	4	53,43	5,059998	6
4	6	53,09	30,25	8
5	8	33,23	50,11	9
	9	33,51	16,6	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			416,7	
Time needed (sum task)			346,56	
Idle time (allocated-needed)			70,13995	
Efficiency (needed/allocated)			83,16776	
Balance Delay (1-efficiency)			16,83224	
Min (theoretical) # of stations			5	

### Maior número de tarefas sucessoras \_ Rodas

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	2	24,85	58,49	1, 4
	1	24,85	33,64	4, 3
2	4	53,43	29,91	3, 6
3	3	53,43	29,91	6, 5
4	6	53,09	30,25	5, 8
	5	30,24	9,99E-03	8, 7
5	8	33,23	50,11	7, 9
	7	39,93	10,17999	9
6	9	33,51	49,83	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			500,04	
Time needed (sum task)			346,56	
Idle time (allocated-needed)			153,4799	
Efficiency (needed/allocated)			69,30647	
Balance Delay (1-efficiency)			30,69354	
Min (theoretical) # of stations			5	

### Maior Peso Posicional \_ Rodas

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	2	24,85	58,49	1, 4
	4	53,43	5,059998	1, 6
2	1	24,85	58,49	6, 3
	3	53,43	5,059998	6, 5
3	6	53,09	30,25	5, 8
	5	30,24	9,99E-03	8, 7
4	8	33,23	50,11	7, 9
	7	39,93	10,17999	9
5	9	33,51	49,83	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			416,7	
Time needed (sum task)			346,56	
Idle time (allocated-needed)			70,13995	
Efficiency (needed/allocated)			83,16776	
Balance Delay (1-efficiency)			16,83224	
Min (theoretical) # of stations			5	

### Menor Tempo de Processamento \_ Rodas

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	24,85	58,49	2, 3
	2	24,85	33,64	3, 4
2	3	53,43	29,91	4, 5
3	5	30,24	53,1	4, 7
	7	39,93	13,17	4
4	4	53,43	29,91	6
5	6	53,09	30,25	8
6	8	33,23	50,11	9
	9	33,51	16,6	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			500,04	
Time needed (sum task)			346,56	
Idle time (allocated-needed)			153,4799	
Efficiency (needed/allocated)			69,30647	
Balance Delay (1-efficiency)			30,69354	
Min (theoretical) # of stations			5	

### Menor Número de Tarefas Sucessoras \_ Rodas

Posto	Tarefa	Tempo	Tempo disponível	Tarefas disponíveis
1	1	24,85	58,49	2, 3
	3	53,43	5,059998	2, 5
2	5	30,24	53,1	2, 7
	7	39,93	13,17	2
3	2	24,85	58,49	4
	4	53,43	5,059998	6
4	6	53,09	30,25	8
5	8	33,23	50,11	9
	9	33,51	16,6	
<b>Summary Statistics</b>				
Cycle time			83,34	
Time allocated (cyc*sta)			416,7	
Time needed (sum task)			346,56	
Idle time (allocated-needed)			70,13995	
Efficiency (needed/allocated)			83,16776	
Balance Delay (1-efficiency)			16,83224	
Min (theoretical) # of stations			5	

# ***Anexo XIV***

---



## Colônia de Formigas \_ ANT

SOLUÇÃO PROBLEMA PRINCIPAL										
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Posto 5	Posto 6	Posto 7	Posto 8	Posto 9	Posto 10
Postos paralelos	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Tarefas	1; 8; 11; 13; 18;	9; 20; 24; 25; 34;	12; 19; 21;	2; 4;	5; 6; 15; 22;	3; 16; 17; 23; 28;	7; 32;	30;	14; 26; 29; 31;	10; 27; 33;
Carga	71,7;	60,9;	67,1;	70,5;	70,2;	64,7;	60,1;	64,4;	136,9;	131,7;
Estações	12									
Eficiência	0,92									

SOLUÇÃO PROBLEMA GUIADOR				
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4
Postos paralelos	1	1	1	1
Tarefas	1;	2; 3;	4; 5;	6; 7;
Carga	56,5;	53,7;	64;	67,2;
Estações	4			
Eficiência	0,84			

SOLUÇÃO PROBLEMA RODAS						
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Posto 5	Posto 6
Postos paralelos	1	1	1	1	1	1
Tarefas	1; 2;	4;	6;	3;	8; 9;	5; 7;
Carga	49,7;	53,4;	53,1;	53,4;	66,7;	70,2;
Estações	6					
Eficiência	0,80					

## Algoritmos Genéticos \_GA

SOLUÇÃO PROBLEMA PRINCIPAL										
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Posto 5	Posto 6	Posto 7	Posto 8	Posto 9	Posto10
Postos paralelos	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
Tarefas	1; 8; 11; 18; 20;	2; 25;	12; 24;	5; 13; 15;	4; 19; 21; 22; 23; 34;	6; 14; 16; 17; 27;	28; 32; 3;	30;	7; 26; 29; 31;	10; 33; 9;
Carga	65,5;	71,4;	61,7;	64,3;	65,2;	134,2;	62,7;	64,4;	138;	70,7;
Estações	12									
Eficiência	0,92									

SOLUÇÃO PROBLEMA GUIADOR				
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4
Postos paralelos	1	1	1	1
Tarefas	1;	2; 3;	4; 5;	6; 7;
Carga	56,5;	53,7;	64;	67,2;
Estações	4			
Eficiência	0,84			

SOLUÇÃO PROBLEMA RODAS						
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Posto 5	Posto 6
Postos paralelos	1	1	1	1	1	1
Tarefas	1; 2;	4;	3;	6;	5; 7;	8; 9;
Carga	49,7;	53,4;	53,4;	53,1;	70,2;	66,7;
Estações	6					
Eficiência	0,80					

## Simulated Annealing\_ SA

## SOLUÇÃO PROBLEMA PRINCIPAL

[illegible]